TOTENSTARREMESSUNGEN AN MÄNNLICHEN MENSCHLICHEN SKELETTMUSKELN IN SITU

Florian Paelz

1979

Dissertations- und Fotodruck ANNELIESE SCHUBERT
Corneliusstraße 21 · 8000 München 5 · Telefon 268177

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41535722_0075

Aus dem Institut für Rechstmedizin der Universität München

Vorstand: Prof. Dr. W. Spann

Totenstarremessungen an männlichen menschlichen Skelettmuskeln in situ

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin

an der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Florian Paelz

aus

München

Jahr

1979

Mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. W. Spann

Mitberichterstatter:

Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 18. Mai 1979

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1.0	Einleitung	3
2.0	Bisherige Untersuchungen der Totenstarre	5
2.1	Beschreibungen und statistische Berechnungen des Ablaufs der Totenstarre	5
2.2	Messungen des mechanischen Verhaltens von Muskeln in der Totenstarre	8
2.2.1	Zeitlicher Ablauf der Totenstarre	11
2.2.1.1	Verhalten des Muskels bei gewaltsamem Lösen der Starre	12
2.3	Einfluß der Temperatur auf das mechanische Verhalten von Skelettmuskulatur in der Totenstarre	14
2.4	Einfluß der Todesart auf den Verlauf der Totenstarre	19
2.5	Die Entwicklung des FRR-Index	20
3.0	Material und Methodik	24
3.1	Untersuchungsgut	24
3.1.1	Liegezeit	26
3.1.2	Temperatur der Leichen	27
3.2	Meßapparatur	28
3.3	Praktische Durchführung der Messungen	29
3.4	Meßgrößen	30
4.0	Meßergebnisse und Auswertung	32
4.1	Kraftmomente in Abhängigkeit von der Liegezeit (Arme ♂)	32
4.1.1	Kraftmomente in Abhängigkeit von der Liegezeit (Beine ♂)	34

		Seite
4.2	Verteilung der Meßwerte innerhalb von Zeitintervallen	36
4.2.1	Anwendung der logarithmischen Normalverteilung	39
4.3	Obere 95%-Toleranzgrenzen derKraftmomente	40
4.4	Halblogarithmische Darstellung der Kraftmomente und 95%-Toleranzgrenzwerte	44
4.5	Kraftmomente bezogen auf den Muskelquerschnitt (Arme ♂)	47
4.5.1	Kraftmomente bezogen auf den Muskelquerschnitt (Beine ♂)	50
4.5.2	Obere 95%-Toleranzgrenzwerte der Kraftmomente/U^2	50
4.5.3	Halblogarithmische Darstellung der Kraftmomente/U^2 und der oberen 95%-Toleranzgrenzwerte (Arme ♂)	53
4.5.3.1	Halblogarithmische Darstellung der Kraftmomente/U^2 und der oberen 95%-Toleranzgrenzwerte (Beine ♂)	53
4.5.4	Rücktransformation der oberen Grenzbänder	56
4.6	Eigengewicht bzw. Leerwert der Extremitäten	56
5.0	Zusammenfassung	62
6.0	Tabellen- und Abbildungsverzeichnis	66
6.1	Tabellen	66
6.2	Abbildungen	66
7.0	Literatur	69

Totenstarremessungen an männlichen menschlichen Skelettmuskeln in situ

1.0 Einleitung

Seitdem sich die gerichtliche Medizin zu einer eigenen Disziplin entwickelt hat, die ihre Erkenntnisse auf naturwissenschaftlicher Basis gründet, hat sie sich mit der Totenstarre, als einem der drei sicheren Todeszeichen, auseinandergesetzt.
Insbesondere ist die Ermittlung des Todeszeitpunktes an Hand der Totenstarre eines der wichtigen, noch unbefriedigend gelösten Probleme.
Seit Nysten, der die Totenstarre 1811 ausführlich beschrieb (13), wird der Starrezustand der Leiche wegen der Gesetzmäßigkeiten im Ablauf, d.h. Bildung und Lösung des Rigor mortis, auch als Parameter herangezogen.
In jüngster Zeit haben Forster, Ropohl und Raule den zeitlichen Ablauf der Leichenstarre eingehender untersucht und ein Meßverfahren vorgeschlagen, das die Feststellung exakter Starrewerte ermöglicht (5). Die Untersuchungen von Forster et al. erlauben eine realistische Annahme, daß durch meßtechnische Erfassung der Totenstarre eine recht gute Schätzung des Todeszeitpunktes möglich ist.

Die bis heute angewandte manuelle Prüfung der Totenstarre sowie deren subjektive Bewertung führen in vielen Fällen zu groben Fehlbeurteilungen. Sie sollten daher durch eine objektive Totenstarremessung ersetzt werden. Angeregt durch diese (Forster et al.) und die Untersuchungen von Beier et al. (3) wird in der vorliegenden Arbeit an 84 männlichen Leichen in situ die Ausbildung des Rigor mortis in Abhängigkeit von der Liegezeit gemessen und beschrieben; zumal umfangreichere Meßdaten von menschlichen Skelettmuskeln in situ bislang in der Literatur nicht vorliegen.

2.0 Bisherige Untersuchungen der Totenstarre

Aus der Fülle der Literatur über den Rigor mortis werden nachfolgend nur die Arbeiten erwähnt, die eine praktische Relevanz zu dieser Untersuchung aufweisen.

2.1 Beschreibungen und statistische Berechnungen des Ablaufs der Totenstarre

Im Jahre 1811 veröffentlichte Nysten die Arbeit "Von der Erstarrung, welche die Körper des Menschen und der Tiere nach dem Tode befällt." (13)
Sie steht am Anfang der wissenschaftlichen Erforschung der Leichenstarre.
Mangold lieferte 1922 Beschreibungen über den zeitlichen Ablauf der Totenstarre. Nach seinen Beobachtungen setzt sie drei Stunden post mortem ein und erreicht ihr Maximum nach ca. 24 Stunden (9,10).
Mallach (1964, z.T. unveröffentlicht) berechnete aus 28 Literaturstellen zwischen 1811 und 1960 Mittelwerte und Standardabweichungen für den Ablauf der charakteristischen Eigenschaften der Totenstarre bei Erwachsenen. Die Ergebnisse stellte er in einer Tabelle den statistisch erfaßten Beobachtungen von Hoffmann's (1876/77) gegenüber (Zitat nach 11).

Zustand der Totenstarre in Stunden p.m.

und Standardabweichung (s)

Autor	voll ausgeprägt	in Lösung begriffen	vollständig gelöst	Anzahl der Fälle
v. Hoffmann (1877)	$48^{\pm}14$	$47^{\pm}14$	$50^{\pm}6$	
	65%	28%	7%	
	(117)	(51)	(13)	181
Mallach (1962)	$57^{\pm}27$	$76^{\pm}24$	$86^{\pm}29$	
	25%	53%	22%	
	(57)	(126)	(54)	237

Tabelle I: Totenstarre beim Erwachsenen nach Mallach (1964, z.T. nicht veröffentlicht).

Der Tabelle ist zu entnehmen, daß die Zeitangaben im Schrifttum bezüglich des Ablaufs der Totenstarre als Parameter zur Todeszeitbestimmung in weiten Grenzen divergieren.

Wegen der praktischen Bedeutung gingen Mallach und Mittmeyer das Problem 1970 mit Hilfe der maschinellen Datenverarbeitung neu an. An 271 Sektionsprotokollen eines Obduzenten der Berichtszeit von Anfang 1965 bis Oktober 1968 wurde die Abhängigkeit der Totenstarre und Totenflecke vom Leichenalter statistisch untersucht (8). Die Untersuchungsergebnisse zeigten eine große individuelle Streuung. So wurde für die Leichen von Personen mit einem Lebensalter von mindestens 10 Jahren, die Totenstarre durchschnittlich 25 Stunden post mor-

tem mit einer Standardabweichung von ±12 Std. voll ausgeprägt und 95 Std. nach dem Tode mit einer Standardabweichung von ±36 Std. wieder gelöst gesehen (11).

Zustand der Totenstarre p.m. und Standardabweichung (s)		
voll ausgeprägt	in Lösung begriffen	vollständig gelöst
25±12	-	95±36
	Grenzen (s)	
13-37	25-95	59-131

Tabelle II: Totenstarreablauf an Leichen in einem Lebensalter von mindestens 10 Jahren (n. Mittmeyer).

Neben den verschiedensten, auf die Totenstarre einflußnehmenden äußeren und inneren Faktoren, wie z.B. Lagerung der Leiche, Eigen- und Umgebungstemperatur, Alter und Geschlecht, die die individuelle große Streuung bedingen, weist Mittmeyer in der Arbeit darauf hin, daß eine größere Genauigkeit in der Aussage gewonnen werden könnte, wenn man dazu überginge, für die Beurteilung der Totenstarre physikalisch genormte Methoden einzuführen.

2.2 Messungen des mechanischen Verhaltens von Muskeln in der Totenstarre

Erste exaktere physikalische Messungen wurden von Bate-Smith und Bendall durchgeführt. Sie belasteten und entlasteten frische und sich im Starreablauf befindende Muskeln mit Gewichten und beschrieben das elastische Verhalten (1,2).

Einen wesentlichen Beitrag zum Verständnis des mechanischen Verhaltens von Muskulatur in Totenstarre lieferte Forster 1963 (7). In dieser Arbeit untersuchte er die plastischen und elastischen Veränderungen von in situ belassenen Gastrocnemien männlicher weißer Ratten. Er registrierte mittels eines Kymographen die Längenänderungen der Muskeln, die mit einer Reihe ansteigender Gewichte belastet und mit einer Reihe abnehmender Gewichte entsprechend entlastet wurden.

Dabei stellte er fest, daß während des Verlaufs der Leichenstarre die elastischen Eigenschaften konstant bis zu einem Minimum abnehmen, während die plastische Verformbarkeit erst zunimmt und dann abnimmt (siehe Abb. 1). Offenbar nimmt mit Einsetzen der Leichenstarre die Elastizität des Skelettmuskels konstant bis zu einem Minimaalwert ab, wobei dann gleichzeitig das Maximum der Starre erreicht ist.

Gleichzeitig zeigte Forster, daß die Lösung der Leichenstarre mit einer leichteren Verformbarkeit der plastische-

Elemente einsetzt (7). Die Unterschiede im Verhalten der plastischen und elastischen Eigenschaften lassen vermuten, daß zwei verschiedene Elemente Träger dieser Eigenschaften sind (6).

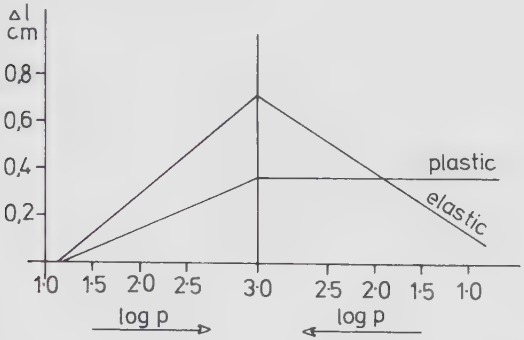


Abb. 1: Demonstration der elastischen und plastischen Veränderungen durch Messungen an Skelettmuskeln mit zunehmenden und abnehmenden Gewichten. Ordinate zeigt Längenänderung in cm. Auf der Abszisse sind die log der entsprechenden Gewichte aufgetragen.

Zink befaßte sich 1972 mit der Frage, welche Rolle die Skelettmuskulatur beim Zustandekommen der Totenstarre spielt (16). Bei Dehnungsversuchen an lebensfrischen und totenstarren menschlichen Skelettmuskeln und Skelettmuskelfasern kam er zu folgenden Ergebnissen:

1. Die auf den Querschnitt bezogene Festigkeit und Steifheit von totenstarren Muskelfasern und ganzen Muskeln stimmen etwa überein.
2. Totenstarre Muskulatur ist im Vergleich zu lebensfrischer weniger fest und weniger dehnbar.

Totenstarre Muskulatur ist im Bereich niedriger und mittlerer Dehnungen steifer als frische Muskulatur. Die maximale Steifheit ist bei totenstarrer und frischer Muskulatur gleich.

3. Der Rigor Mortis hat seine Ursache in einer Veränderung der Muskelfaser und ist nicht an den Gewebeverband gebunden (16).

Die Abb. 2 zeigt das unterschiedliche Verhalten totenstarrer und frischer menschlicher Skelettmuskelfasern bei den Dehnungsversuchen von Zink.

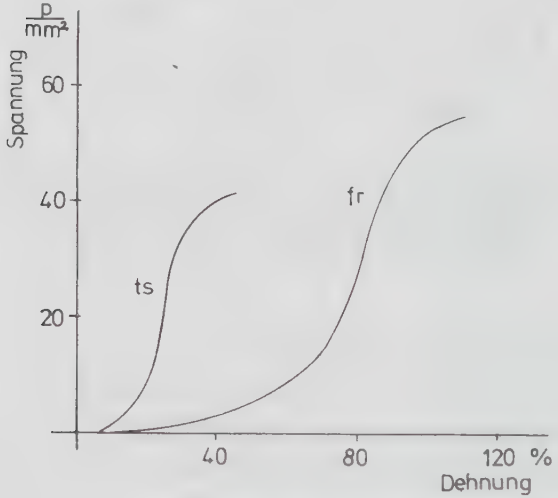


Abb. 2: Halbschematische Form der Spannungs-Dehnungskurve frischer (fr) und totenstarrer (ts) menschlicher Skelettmuskelfasern. Als Ruhelänge ist die Länge gewählt, bei der der Dehnung eine gerade meßbare Kraft entgegengesetzt wird (nach Zink).

2.2.1 Zeitlicher Ablauf der Totenstarre

Entsprechend der Literatur, die die Veränderungen bei Eintritt der Totenstarre behandelt, läßt sich die Zeitspanne zwischen dem Eintritt des Todes und der Lösung der Totenstarre im wesentlichen in vier Phasen gliedern: (1,2,6,7,17)

Phase 1: Vorphase oder sog. Erschlaffungsphase mit nur geringer Verlängerung des Muskels und Abnahme der plastischen Eigenschaften. Ihre Zeitdauer ist sehr unterschiedlich. Nach Bate-Smith und Bendall (1948) kann sie zwischen 0 und 20 Std. betragen.

Phase 2: Erstarrungsphase; sie reicht vom Beginn der Totenstarre bis zu ihrer vollständigen Ausprägung. Hier zeigen sich die deutlichsten Veränderungen am Muskel: die Steifheit nimmt kontinuierlich zu, die Plastizität nimmt ab und der Muskel wird kürzer.

Phase 3: Die dritte Phase umfaßt den Zustand voll ausgebildeter Starre mit ausgeprägter Versteifung der Leiche. Es lassen sich keine wesentlichen Veränderungen der mechanischen Eigenschaften nachweisen. In dieser Phase wurden von Bate-Smith und Bendall auch nur geringe Veränderungen der biochemischen Werte gefunden.

Phase 4: Die Lösung der Totenstarre; von ihr spricht man, wenn nach einiger Zeit wieder eine zunehmend leichtere Beweglichkeit der zuvor erstarrten Körperteile festzustellen ist. Eine Erhöhung der Plastizität ist nachweisbar und Forster zog den Schluß daraus, daß die Lösung der Starre mit einer leichteren Verformbarkeit der plastischen Elemente einsetzt.

In einer weiteren Arbeit im Jahre 1972 führte Zink periodische automatisierte Dehnungsversuche an ganzen menschlichen Muskeln durch (17). Die mechanischen Veränderungen der Skelettmuskulatur nach dem Tode, die in Änderungen der Steifheit, der Plastizität und in einer Verkürzung der Muskulatur liegen und über Vorphase und Erstarrungsphase zur voll ausgeprägten Leichenstarre führen, zeigt Abb. 3.

2.2.1.1 Verhalten des Muskels bei gewaltsamem Lösen der Starre

In der gleichen Arbeit beschreibt Zink das Verhalten des Muskels bei gewaltsamem Lösen der Starre (17). Bei gewaltsamer Lösung der voll ausgebildeten Starre kommt es zur bleibenden Lösung, d.h. zur bleibenden Beweglichkeit der Gliedmaßen. Wird die Totenstarre jedoch während der Erstarrungsphase gebrochen, so bildet sie sich teilweise wieder aus.

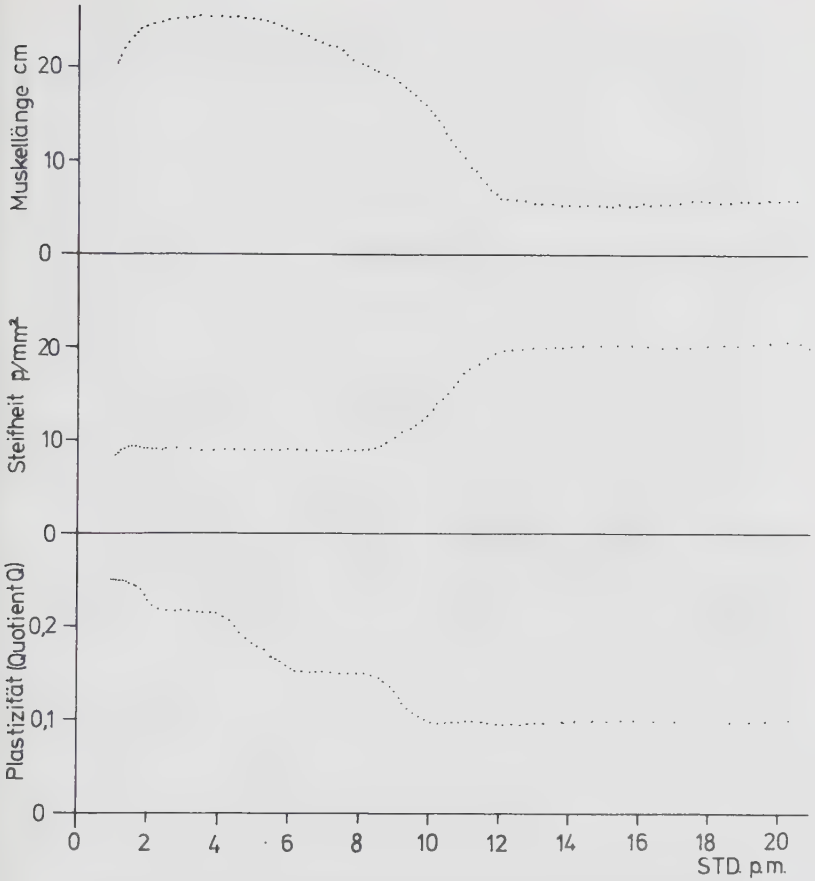


Abb. 3: Beispiel für die Veränderung von Muskellänge, Steifheit und Plastizität eines menschl. M. Sartorius während des 1. Tages nach dem Tod. Die typischen Veränderungen bei Eintritt der Starre (ca. 8-11 Std. p.m.) sind zu erkennen: Verkürzung, Versteifung und Abnahme der Plastizität. (nach Zink)

Das Ausmaß des Wiederauftretens der Starre ist von der Zeitspanne abhängig, die zwischen Beginn der Starre und Brechen liegt. Je eher die Totenstarre nach Einsetzen der Erstarrung gewaltsam gelöst wird, desto kräftiger bildet sie sich wieder aus. Als Erklärung für dieses Verhalten kommt in Frage, daß im Muskelverband die einzelnen Muskelfasern nicht gleichzeitig, sondern in zeitlichen Abständen während der Erstarrungsphase des ganzen Muskels nacheinander erstarren. Es ist zu vermuten, daß das Wiederauftreten der Starre nur durch die Muskelfasern zustandekommt, die beim Vorgang des Brechens noch nicht starr waren. Die bereits erstarrten Fasern werden beim Brechen irreversibel verlängert und können zum Wiedereintreten der Starre nicht beitragen. So läßt sich auch erklären, daß nach Brechen die Starre um so schwächer wiederkehrt, je weiter die Ausbildung der Starre vor dem Brechen fortgeschritten war.
Abb. 4 zeigt schematisch den Verlauf der einzelnen Phasen am Einzelmuskel und das Wiederauftreten der Starre nach gewaltsamer Lösung in der Erstarrungsphase.

2.3 Einfluß der Temperatur auf das mechanische Verhalten von Skelettmuskulatur in der Totenstarre

Morgenstern hat bereits 1927 den Einfluß der Temperatur auf die Leichenstarre in Tierexperimenten beschrieben. Nach seinen Untersuchungen kann sich die voll ausgebildete

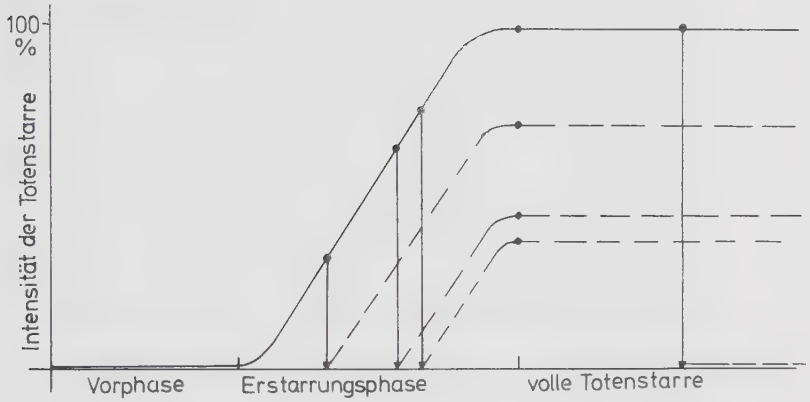


Abb. 4: Halbschematische Darstellung des Verlaufs der Totenstarre am Einzelmuskel. Als Meßwert für die Intensität der Totenstarre wurde die Verkürzung verwendet; die gesamte Verkürzung wurde mit 100% bezeichnet. Die Pfeile sollen das Brechen der Totenstarre andeuten. Der bogenförmige Verlauf der Intensitätskurven entspricht dem Verlauf der Änderungen von Länge und Steifheit des Muskels (nach Zink).

Totenstarre je nach Temperatur zwischen dem 1. bis 12. Tag post mortem lösen (12).

Auch die Arbeit von Forster aus dem Jahre 1963 über die plastischen und elastischen Veränderungen des Skelettmuskels während der Totenstarre erwähnt schon den Einfluß der Temperatur auf diese mechanischen Parameter (7). Kurze Zeit später bewies Forster, daß eine Kontraktion der Muskulatur während der Totenstarre auftritt und diese abhängig ist von einer Vorspannung oder Dehnung (6).

In derselben Arbeit zeigt Forster, daß die Erstarrungsphase, abhängig von der Temperatur, früher oder später einsetzt. Darüberhinaus beeinflußt die Temperatur das Zeitintervall vom Beginn der Erstarrung bis zur maximalen Verkürzung des Muskels in der voll ausgeprägten Totenstarre.

Die Mittelwerte der Tabelle III, die von Messungen an Mm. Gastrocnemii weißer männlicher Ratten stammen, verdeutlichen, daß bei höherer Temperatur die Erstarrungsphase früher einsetzt.

Tabelle III:

Zeitspanne vom Tod bis zum Beginn der Erstarrung in Min. bei Raumtemp. (24°C), Inkubatortemp. (38°C) und Kühlschranktemp. (4°C). Gemessen an Mm. Gastrocnemii weißer Ratten (nach Forster).

Inkubator Temperatur	Raum Temperatur	Kühlschrank Temperatur	
60	120	150	
90	70	180	
70	60	185	
85	120	220	
90	160	230	
110	125	150	
100	160		
60	70		
80	130		
80	85		
90	120		
	100		
	110		
	150		
	145		
	90		
83	113	186	Mittelwerte
60-110	60-160	150-230	Streubreite

Zu Tabelle III: Bei Raumtemperatur setzt die Starre nach 60 bis 160 Min. nach dem Tode ein. (Mittelwert 113 Min.). Bei Inkubatortemperatur liegen die Zeiten zwischen 60 und 110 Min. (Mittelwert 83 Min.).
Bei Kühlschranktemperatur liegen die Zeiten zwischen 150 und 230 Min. (Mittelwert 186 Min.).
Ähnliche Werte finden sich für die Zeiten vom Beginn der Starre bis zur maximalen Verkürzung in Tabelle IV.
Sie zeigt, daß bei höherer Temperatur sich die Zeit zwischen Beginn der Erstarrungsphase bis zur maximalen Verkürzung des Skelettmuskels in voll ausgeprägter Totenstarre verkürzt.

Tabelle IV:

Zeit vom Beginn der Erstarrungsphase bis zur maximalen Verkürzung. Bei Raumtemp. (24°C), Inkubatortemp. (38°C) und Kühlschranktemp. (4°C). Gemessen an Mm. Gastrocnemii weißer Ratten (nach Forster).

Inkubator Temperatur	Raum Temperatur	Kühlschrank Temperatur	
130	130	220	
120	160	170	
90	170	270	
140	130	230	
110	160	200	
80	110		
90	130		
120	100		
130	140		
90	120		
70			
106	135	218	Mittelwerte
70-140	100-170	170-270	Streubreite

Nachfolgende Abbildung verdeutlicht in schematischer graphischer Darstellung die zeitliche Abhängigkeit des Verlaufs der Totenstarre bei Inkubator-, Raum- und Kühlschranktemperatur (nach Forster).

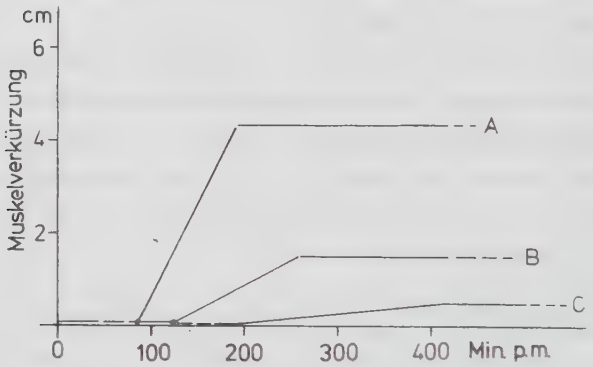


Abb. 5: Zeitlicher Verlauf der Totenstarre in Abhängigkeit von Inkubator- (A), Raum- (B) und Kühlschranktemperatur (C). Näheres siehe Text (nach Forster).

Auf der Abszisse ist die Zeit in Minuten, auf der Ordinate die Muskelverkürzung in cm aufgetragen. Die drei Kurven zeigen die Durchschnittszeit vom Tod des Tieres bis zum Beginn der Totenstarre, desgleichen die Durchschnittszeit für die maximale Verkürzung. Es läßt sich klar ersehen, daß beide Zeiten, sowohl diejenige vom Eintritt des Todes bis zum Beginn der Starre, als auch diejenige vom Beginn der Starre bis zur maximalen Verkürzung bei vollständiger Starre, bei niedriger Temperatur zunehmen (5).

2.4 Einfluß der Todesart auf den Verlauf der Totenstarre

Oppenheim und Wacker führten 1919 im Pathologischen Institut der Universität München Untersuchungen durch, in denen die Ausprägung der Totenstarre mit der Art des Todes in Zusammenhang gebracht wurde (14).
Sie hielten die postmortale Säurebildung (Milchsäure) von entscheidendem Einfluß auf die Intensität der Starre und schlossen daraus, daß, je höher die Säurebildung war, abhängig vom Glykogengehalt des Muskels bei Eintritt des Todes, desto stärker sich auch die Totenstarre ausprägte.
Sie unterschieden drei Reihen von Leichen. Unter der ersten Reihe fanden sich Leichen in normalem Ernährungszustand mit glykogenhaltigen Muskeln, wie z.B. bei Selbstmördern oder Verunglückten mit rasch eintretendem Tod.
Zur zweiten Kategorie gehörten jene, deren Ernährungszustand aufgrund vorangegangener Krankheit weniger gut war und deren Muskeln z.Z. des Ablebens nur geringe Mengen Glykogen oder kein Glykogen mehr enthielt. Bei einer dritten Reihe von Leichen war der Glykogengehalt völlig erschöpft, so daß die Grundsubstanzen zur Milchsäureerzeugung fehlten. Solche Zustände traten oft bei Peritonitis, anderen septischen Erkrankungen, chronischer Tuberkulose und mit Kachexie einhergehenden anderen Krankheitsbildern auf.
Jedoch mangelte es damals an einer genauen meßtechnischen Erfassung der Totenstarre.

Forster referierte 1972 u.a. über dieses Problem (4). Er tötete Ratten durch Nackenschlag und stellte ihr eine Todesart gegenüber, die zu außerordentlich schnellem Eintritt der Starre führt, den Tod durch Pentachlorphenol. Pentachlorphenol ist bekanntlich ein sog. "Entkoppler". Es verhindert die Phosphorylierung von ADP zu ATP innerhalb der Atmungskette. Mit Pentachlorphenol läßt sich eine sofortige, sozusagen chemisch-kataleptische Totenstarre erzeugen. Die Tiere sind unmittelbar nach dem letzten Atemzug in weniger als 10 sec. totenstarr. Auffällig ist nun, daß sich diese Starre signifikant schneller löst als bei Tod durch Nackenschlag, wobei die Lösungszeiten ebenso temperaturabhängig sind wie bei anderen Todesarten. Forster folgerte daraus, daß die Lösungszeit mit Sicherheit zumindest in bestimmten Fällen auch von der Todesart abhängig ist.

2.5 Die Entwicklung des FRR-Index

Forster, Ropohl und Raule entwickelten ein Meßverfahren zur besseren Objektivierung von Leichenstarrebefunden (5). Mit Hilfe einer Maximum-Federwaage (Abb. 6) wird ein Zug an der zu messenden Extremität ausgeführt. Die so erhaltenen Werte geben die ausgeübte Zugkraft wieder. Als weitere Parameter kommen der lange Hebelarm, der kurze Hebelarm und die Stärke der Oberschenkelmuskulatur hinzu. (s. Abb. 7)

Abb. 6: Maximum-Federwaage für bestimmten Meßbereich (Forster).

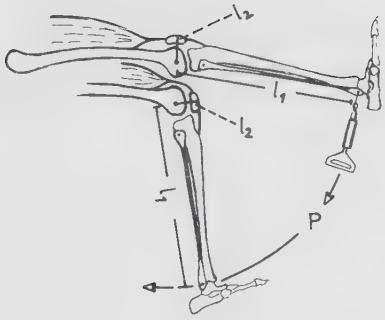


Abb. 7: P=Zugkraft (kp), l_1=großer Hebelarm (cm), von querer Kniegelenkachse bis Malleolengabel; l_2=kleiner Hebelarm (cm), von querer Kniegelenkachse bis laterale oder mediale Kante der Kniescheibenvorderfläche.

Aus diesen Meßwerten wurde eine Formel zur Ermittlung eines Starreindex entwickelt, der sog. FRR-Index. Diese Formel ermöglichte es, exakte objektive Starrewerte zu erhalten (Abb. 8). Diese Meßmethode unter Anwendung der FRR-Formel zeigte, daß der Verlauf der Totenstarre nicht so erfolgt, wie bisher angenommen wurde. Der Eindruck "voll ausgeprägte Starre" entsteht bereits bei FRR-Werten oberhalb 5,5 (Abb. 9).

$$FRR = \frac{P \times l_1}{U^2 \times l_2} \times 100$$

P = Zugkraft (kp)
l_1 = Unterschenkellänge (cm)
l_2 = kleiner Hebelarm (cm)
U = Oberschenkelumfang (cm) 15cm oberhalb Kniegelenk

FRR	Starre-grade	Starre-befund
5,5	1	volle Starre
5,5-4,0	2	sehr schwer lösb.
4,0-2,5	3	schon gut lösb.
2,5-1,3	4	teigig - weich
1,3-0,2	5	geringe Reststr.
0,2	6	volle Lösung

Abb. 8: Messung der Totenstarre (nach Forster et al.)

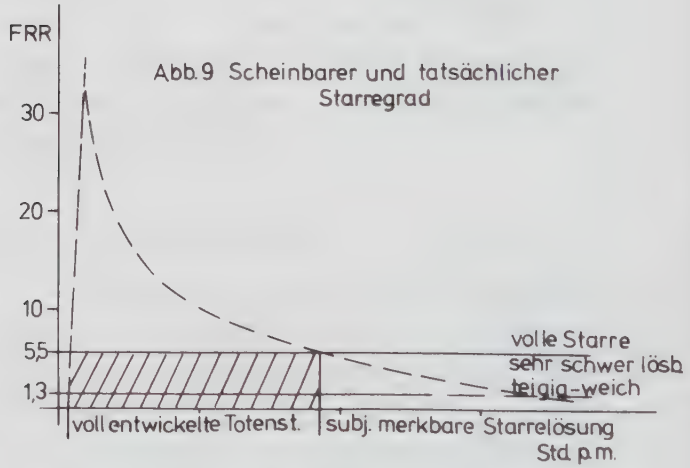


Abb. 9: Schema zum Verlauf der Totenstarre. Gestrichelte Kurve: tatsächlicher Rigorverlauf, gemessen mit der Federwaage. Unteres Feld: subjektiver Eindruck bei herkömmlicher manueller Prüfung. Ordinate: FRR-Indices; Abszisse: Stunden post mortem, abhängig von der Umgebungstemp. (nach Forster).

Es werden jedoch um ein Vielfaches höhere Werte erreicht. Beginnende Starrelösung erfolgt bereits zu einem Zeitpunkt, bei dem eine Muskelgruppe bisher noch als voll totenstarr deklariert werden mußte.

3.0 Material und Methodik

3.1 Untersuchungsgut

Die untersuchten Leichen stammen aus dem Institut für Rechtsmedizin der Universität München. Es handelt sich um 84 männliche Leichen, die im Zeitraum von November 1975 bis Januar 1977 neben anderen obduziert wurden.
Das Alter der untersuchten Individuen erstreckte sich von 6 bis zu 84 Jahren (Mittelwert 45 Jahre).
Das Körpergewicht schwankte zwischen 27 und 97 kg (Mittelwert 69 kg).
Ihre Körpergröße bewegte sich zwischen 132 und 188 cm (Mittelwert 170 cm).
Lebensalter, Gewicht und Körpergröße sind histographisch dargestellt. (Abb. 10,11,12)

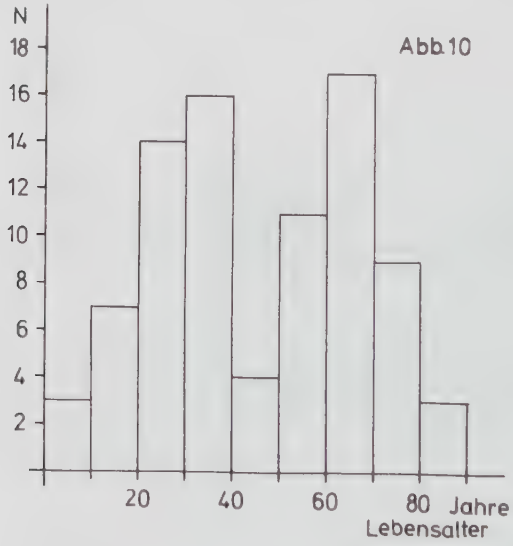


Abb.10

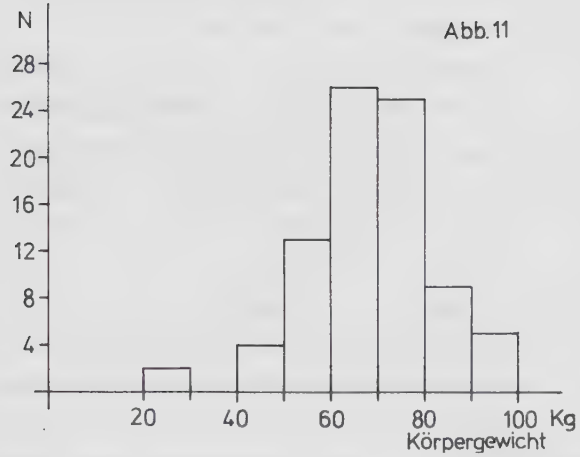

N
28
24
20
16
12
8
4
20
40
60
80
100 Kg
Körpergewicht

Abb. 11

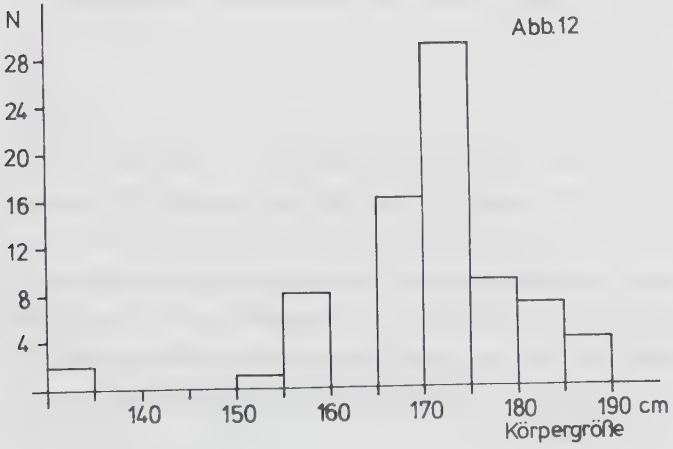

N
28
24
20
16
12
8
4
140
150
160
170
180
190 cm
Körpergröße

Abb. 12

Im Gegensatz zum Leichengut aus pathologisch-anatomischen Instituten handelte es sich bei der Mehrzahl der Fälle um Individuen, die aus voller Gesundheit heraus verstarben. Die häufigsten Todesursachen waren:
Verkehrs- und Betriebsunfälle mit Verbluten und zentraler Lähmung bei Schädelbasisbrüchen, Coronarverschluß, Barbituratvergiftung, Erhängen, Ertrinken und Pneumonie.
Die untersuchten Leichen stammten sowohl aus städtischer, als auch aus ländlicher Bevölkerung und es fanden sich Angehörige aller sozialen Schichten.
Bis auf drei, wiesen die untersuchten Leichen keine Extremitätenbefunde wie Frakturen und Sehnenabrisse auf. Es handelte sich bei den drei Leichen um einen 37-jährigen Mann mit einer Femurfraktur rechts, einen 55-jährigen Mann mit beidseitigen Femurfrakturen und einen 80-jährigen Mann mit einer Humerusfraktur links. Die Messungen wurden nur an Extremitäten ohne Befunde vorgenommen.

3.1.1 Liegezeit

Die Liegezeit, als ein Hauptparameter dieser Untersuchung, ist definiert als der Zeitraum vom Eintritt des Todes bis zur Messung der Totenstarre. Um eine hinreichend genaue Liegezeit zu erhalten, wurden nur diejenigen Individuen untersucht, deren Todeszeitpunkt genau bekannt war. Der Todeszeitpunkt wurde den jeweiligen Totenscheinen entnommen. Dort war er auf die Minute genau angegeben.

An vier Leichen wurde die Starre der jeweils diagonal gegenüberleigenden Extremitäten, z.B. re.Arm - li.Bein und li.Arm - re.Bein zu verschiedenen Zeiten gemessen. So nach 10 und 34 Std., 17 und 40 Std., 21 und 42 Std. und 48 und 74 Std. Liegezeit.
Bei einem 52-jährigen Mann wurde die Starre jeweils aller Extremitäten zu drei verschiedenen Zeiten, d.h. nach 6, 14 und 89 Std. gebrochen.

3.1.2 Temperatur der Leichen

Die Bedeutung des Einflusses der Temperatur auf die Messungen wurde folgendermaßen berücksichtigt:
80% der zur Messung herangezogenen Leichen lagen ≥15 Std. im Kühlraum des Instituts bei $4^{\circ}C \pm 1^{\circ}C$ (Durchschnittswert 34,25 Std.).
95% der zur Messung herangezogenen Leichen lagen ≥5 Std. im Kühlraum bei gleicher Temperatur (Durchschnittswert 8,2 Std.).
Geht man davon aus, daß nach 10 Std. die Extremitäten der Leichen die Umgebungstemperatur des Kühlraumes angenommen haben, so gelten die Messungen für eine Extremitäten- bzw. Lagertemperatur von $4^{\circ}C \pm 1^{\circ}C$.
Jedoch sagt die Temperatur, bei der die Messungen durchgeführt wurden, nichts über den Temperatureinfluß während der Zeit vor Einlieferung der Leichen ins Institut aus, d.h. vor Aufbewahrung der Leichen im Kühlraum mit konstanter Temperatur.

3.2 Meßapparatur

Zur Messung der Leichenstarre diente folgende Hebelapparatur. An einem nach einer Seite hin offenen u-förmig geformten Metallsockel befindet sich ein Zugarm, der in der auszuführenden Zugrichtung bewegt werden kann. Zur Bestimmung der benötigten Zugkraft wird ein Zugkraftmesser mittels Ketten zwischen metallenem Hebelarm und Extremität gespannt. Diese Meßanordnung gewährleistete, daß die Zugkraft stets senkrecht auf den Unterschenkel einwirkte. Zwischen Zugkraft und Hebelarm war stets ein Winkel von 90°. (Abb. 13a,13b)

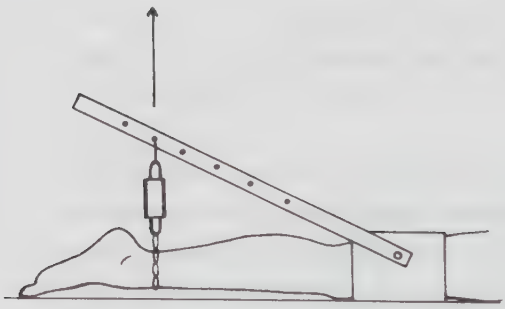


Abb. 13a: Meßapparatur in situ vor der Messung.

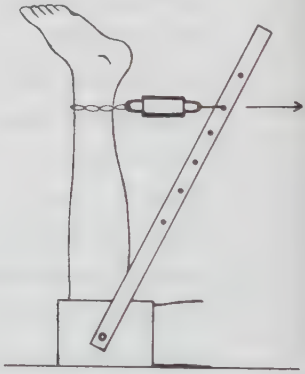


Abb. 13b: Meßapparatur in situ nach der Messung.

Es handelte sich um einen Zugkraftmesser der Fa. Tiedemann/GAP mit Maximalwertanzeige. Die Ablesegenauigkeit

beträgt o,5 kp, die Meßgenauigkeit 0,2 kp.

3.3 Praktische Durchführung der Messungen

Gemessen wurde die zum vollständigen Brechen der Starre erforderliche Zugkraft, und zwar in der Regel an beiden Unterschenkeln durch Beugung im Kniegelenk und an beiden Unterarmen durch Beugung bzw. Streckung im Ellenbogengelenk. Die Messungen wurden ausnahmslos vor der Sektion durchgeführt.

Für die Messungen an den Beinen wurde die Leiche in Bauchlage gebracht und der Unterschenkel bei fixiertem Oberschenkel nach hinten bis zum Brechen der Starre gebeugt (Abb. 13a,13b). Dazu umschloß der Sockel der Hebelapparatur den Oberschenkel und wurde mit einer Schraubzwinge am Sektionstisch so befestigt, daß sich der Drehpunkt des Zugarmes auf gleicher Höhe mit dem Kniegelenk befand.

Es wurde darauf geachtet, daß die Drehbewegung gleichmäßig ausgeführt, d.h. eine annähernd konstante Winkelgeschwindigkeit eingehalten wurde. Sie wurde jedoch nicht meßtechnisch erfaßt. Am Zugkraftmesser wurde die zum Brechen der Starre notwendige Kraft abgelesen.

Danach wurde die Länge des Unterschenkels, d.h. des Hebelarmes (l) vom Kniegelenkspalt bis zu dem Punkt gemessen, wo die Zugkraft über die Kette auf den Unterschenkel proximal der Malleolen einwirkte.

Die Werte für den Hebelarm lagen zwischen 23 und 43 cm

(Mittelwert 34,6 cm). Die Messung des Oberschenkelumfanges (U) wurde 15 cm proximal des Kniegelenkspaltes vorgenommen. Die Werte für U lagen zwischen 30 und 57 cm (Mittelwert 45,2).

Bei den Messungen an den Unterarmen wurde auf die Hebelapparatur verzichtet. Die geringeren Zugkräfte, die zu überwinden waren, ermöglichten eine relativ gleichmäßige Drehbewegung. Auch ließ sich eine senkrecht zur Längsachse des Unterarmes über die selbe Meßuhr mittels Ketten applizierte Zugkraft gut aufrechterhalten. Es wurden gebeugte Unterarme gestreckt und gestreckte Unterarme gebeugt.

Als Hebelarm wurde der Abstand vom medialen Epicondylos humeri bis zum Angriffspunkt der Zugkraft proximal des Radiusköpfchens gemessen. Die Werte für den Hebelarm lagen zwischen 15 und 32 cm Länge (Mittelwert 24,6 cm).

Der Umfang des Oberarmes wurde 15 cm proximal des medialen Epicondylos gemessen. Hier ergaben sich Werte zwischen 17 und 35 cm Umfang (Mittelwert 27,9 cm).

3.4 Meßgrößen

Folgende Meßdaten wurden von jeder Leiche gewonnen:

K_1= Zugkraft (kp)

K_2= Eigengewicht der Extremität (kp)

l = Unterschenkel- bzw. Unterarmlänge (m)

U = Umfang des Oberschenkels bzw. Oberarms (cm)

außerdem Alter, Größe, Körpergewicht und Liegezeit.

Auf die Messung des kleinen Hebelarmes - nach Vorschlag Forsters die Entfernung von der queren Kniegelenksachse bis zur lateralen bzw. medialaen Kniescheibenseitenkante - wurde aus folgenden Gründen verzichtet:

1. Die quere Kniegelenksachse entspricht nicht der von Forster benutzten, sondern wird in dieser Untersuchung durch den Gelenkspalt festgelegt.
2. Bei den relativ kleinen Meßwerten kämen Meßungenauigkeiten, durch die Schwierigkeit der genauen Bestimmung der medialen und lateralen Kniescheibenseitenkante in situ, besonders stark zu tragen.

Als Einheit für die Kraft dient in der Technik das kp. Zur Bestimmung der Größe, die zur Brechung der Leichenstarre notwendig ist, wird das als technische Einheit der Arbeit gebräuchliche Kilopondmeter (kpm) benutzt und entsprechend ihrer Abhängigkeit von Kraft x Hebelarm in dieser Arbeit als Kraftmoment oder Starremoment bezeichnet. Für die Auswertung der Meßergebnisse ergibt sich:

Kraftmoment = Zugkraft (kp) x Hebelarm (m)

Unter Berücksichtigung des Einflusses verschieden stark ausgeprägter Muskulatur wurde der Umfang des Oberschenkels und des Oberarmes als Wert U gemessen. Da der Querschnitt der Muskulatur nicht direkt meßbar ist, wird der Wert U als Quadrat angegeben, damit die Unterschiede zwischen dicker und dünner Muskulatur entsprechend ihrer Fläche, also ihres Muskelquerschnitts, miteinander in

Beziehung gesetzt werden können.

Daraus ergibt sich als weitere Größe:

$$\frac{\text{Kraftmoment}}{\text{Extremitätenumfang}} = \frac{\text{Zugkraft x Hebelarm}}{\text{Extremitätenumfang}}$$

$$\frac{\text{kpm}}{\text{U}^2} = \frac{\text{kp x m}}{\text{U}^2}$$

4.0 Meßergebnisse und Auswertung

4.1 Kraftmomente in Abhängigkeit von der Liegezeit (Arme ♂)

In der Abb. 14 sind die Kraftmomente, die zum Brechen der Starre an den Armen notwendig waren, in Abhängigkeit von der Liegezeit graphisch dargestellt. Auf der Abszisse sind die Liegezeiten in Std. und auf der Ordinate die Kraftmomente in kpm aufgetragen. Die Meßwerte für den rechten (gekennzeichnet durch ○) und linken Arm (gekennzeichnet durch △,▽) sind jeweils miteinander verbunden. Die Werte mit kürzester Liegezeit liegen bei 6 Std., die mit längster Liegezeit bei 152 Std. Die meisten Meßwerte finden sich bei Liegezeiten zwischen 12 und 36 Std.

Es fällt auf, daß die Meßwerte erst ansteigen, bei einer Liegezeit von 13 Std. ein Maximalwert von 13,49 kpm erreicht wird und anschließend eine abfallende Tendenz zeigen.

Der Minimalwert liegt bei 119 Std. mit nicht mehr zu

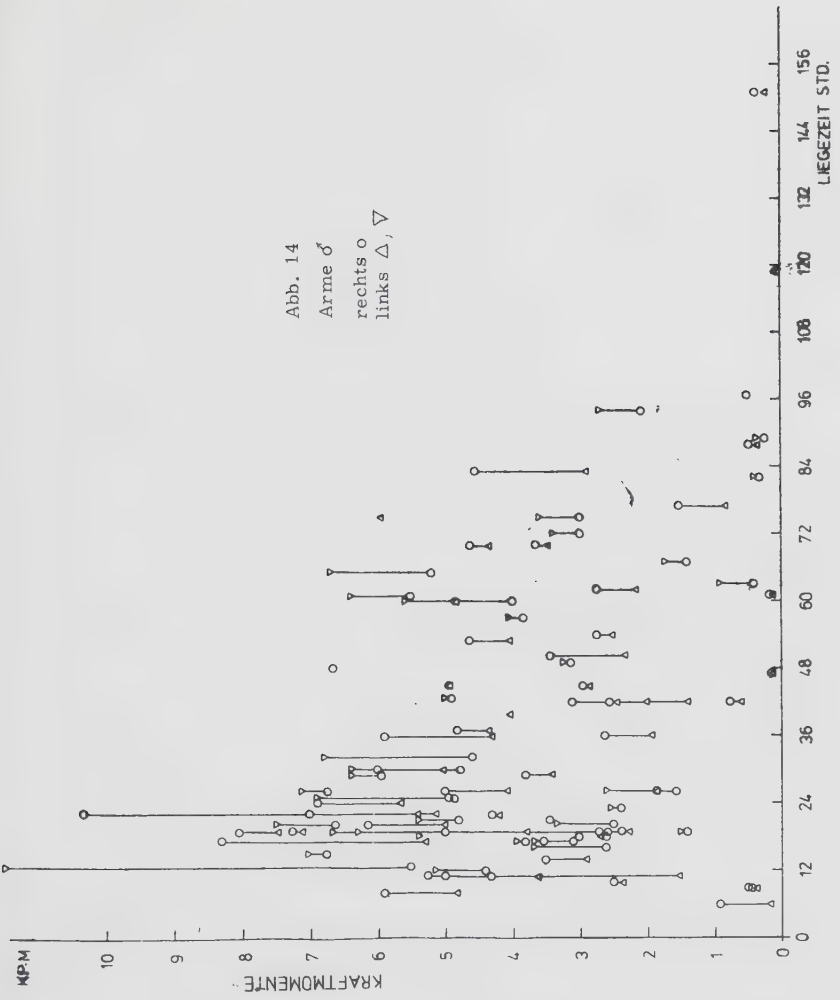


Abb. 14
Arme ♂
rechts ○
links △, ▽

messenden Kraftmomenten um den Wert Null. Hier war die Totenstarre bereits vollständig gelöst. Die Meßwerte, die bei einer Liegezeit von 152 Std. gefunden wurden, liegen bei 0,36 kpm für den rechten Arm bzw. 0,23 kpm für den linken Arm.

Auffallend ist, daß Werte, die bei einer Liegezeit von 9, 48 und 60 Std. gemessen wurden, in der gleichen Grössenordnung liegen, wie die bei 152 Std. Liegezeit gefundenen. Es finden sich zwischen Mindestwerten und Höchstwerten bei einer bestimmten Liegezeit die verschiedensten Werte der Kraftmomente. Dennoch werden zu bestimmten Zeiten Höchstwerte nicht überschritten. Unterhalb dieser Höchstwerte kann aber jeder mögliche Meßwert gefunden werden.

4.1.1 Kraftmomente in Abhängigkeit von der Liegezeit (Beine ♂)

Die Abb. 15 zeigt in entsprechender graphischer Darstellung die gemessenen Kraftmomente bei Beinen männlicher Leichen. Auch hier konzentrieren sich die meisten Meßwerte auf den Bereich von 12 bis 36 Std. Demgegenüber findet sich für den Bereich von 96 bis 152 Std. nur ein Meßwert. Dies läßt auf das vorwiegende Leichenalter der zur Untersuchung kommenden Leichen des gerichtsmedizinischen Instituts schließen, das sich vorwiegend zwischen 12 und 36 Std. bewegt.

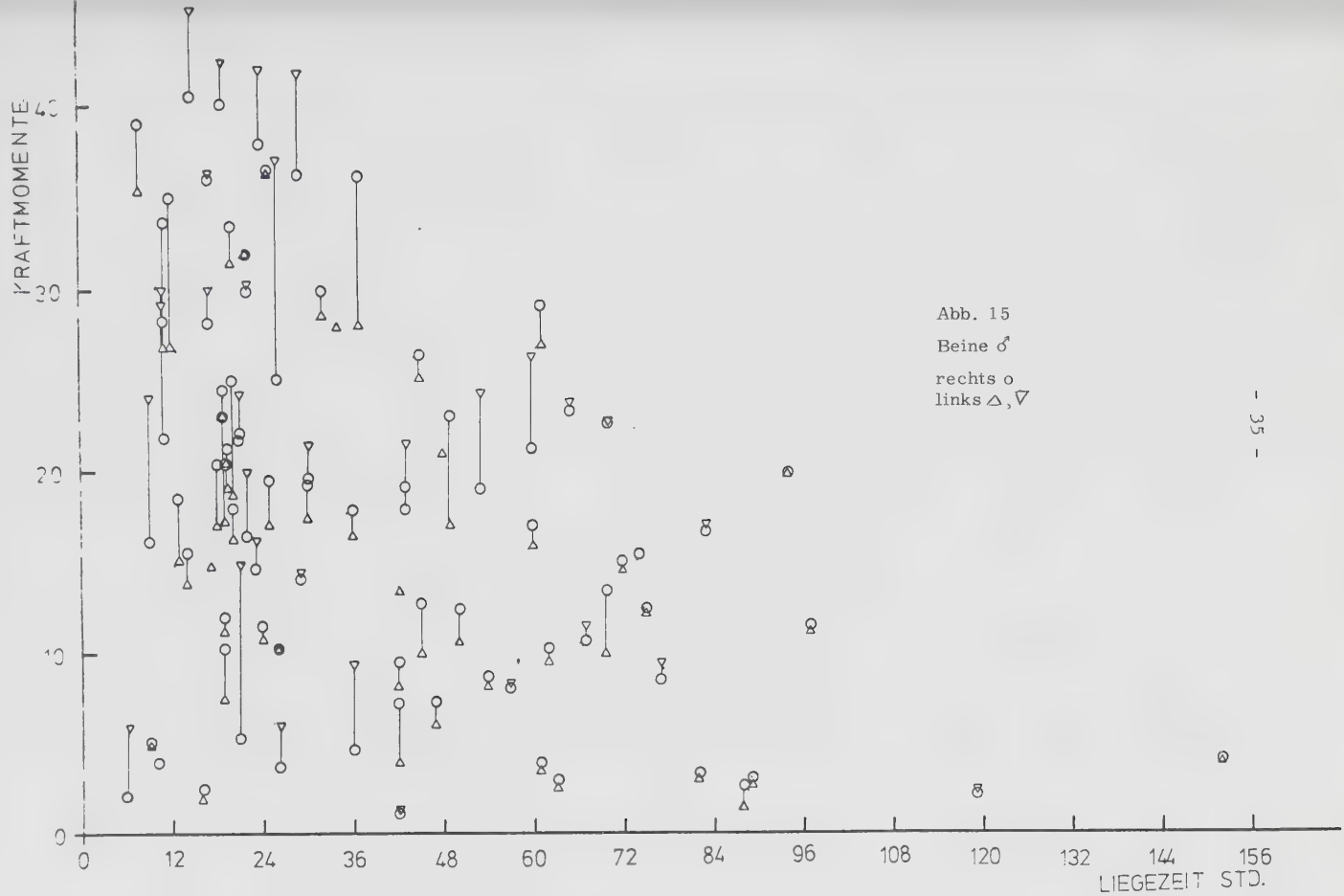


Abb. 15

Beine ♂

rechts o

links △, ▽

Die Liegezeit umfaßt den selben Bereich von 6 bis 152 Std. Die Meßwerte zeigen ebenfalls eine ansteigende und abfallende Tendenz. Der Maximalwert liegt bei 45,24 kpm (li. Bein) nach einer Liegezeit von 15 Std. Das entsprechende rechte Bein weist einen Wert von 40,47 kpm auf. Die geringsten Kraftmomente von 1,10 kpm (re. Bein) und 1,19 kpm (li. Bein) wurden bei einer Liegezeit von 42 Std. gefunden.

Die Meßwerte bei der Leiche mit der höchsten Liegezeit von 152 Std. sind mit 4,21 kpm (re. Bein) und 4,09 kpm (li. Bein) noch relativ hoch. 20 Meßwerte, die sich auf den Bereich von 6 bis 119 Std. erstrecken, liegen entweder gleich hoch oder niedriger.

Entsprechend der Darstellung der Meßwerte für die Arme läßt sich für die Beine das gleiche feststellen, daß zu bestimmten Zeiten gewisse Höchstwerte nicht überschritten, unterhalb derer aber jeder mögliche Meßwert erwartet werden kann.

4.2 Verteilung der Meßwerte innerhalb von Zeitintervallen

Zur Ermittlung der Kurven, welche das Feld der Meßwerte nach oben hin begrenzen, wurde zunächst die Verteilung der Kraftmomente untersucht. Dazu wurden in Schritten von jeweils 6 Std. Zeitintervalle mit einer Klassenbreite von 12 Std. gebildet. Die Abb. 16, 17 und 18 zeigen die Verteilung der Kraftmomente für die Zeitintervalle 12-24 Std., 36-48 Std. und 60-72 Std.

Abb. 16
Zeitintervall
12-24 h
N = 52

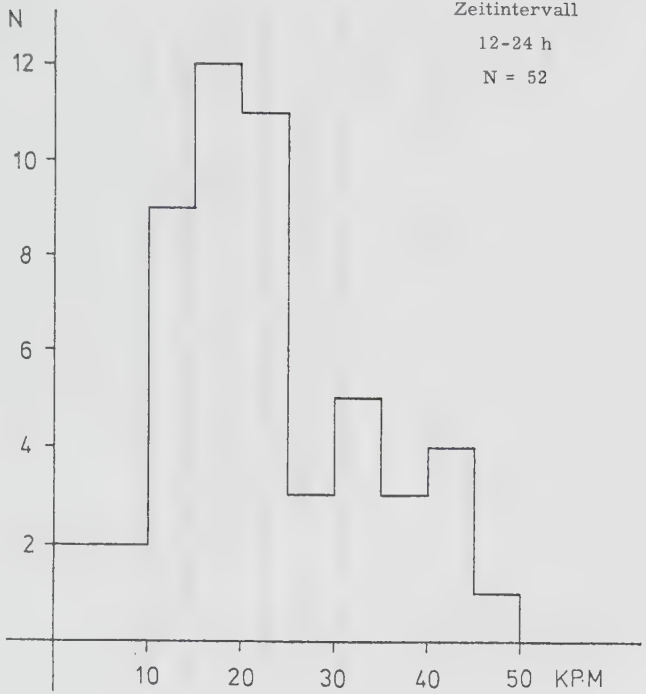
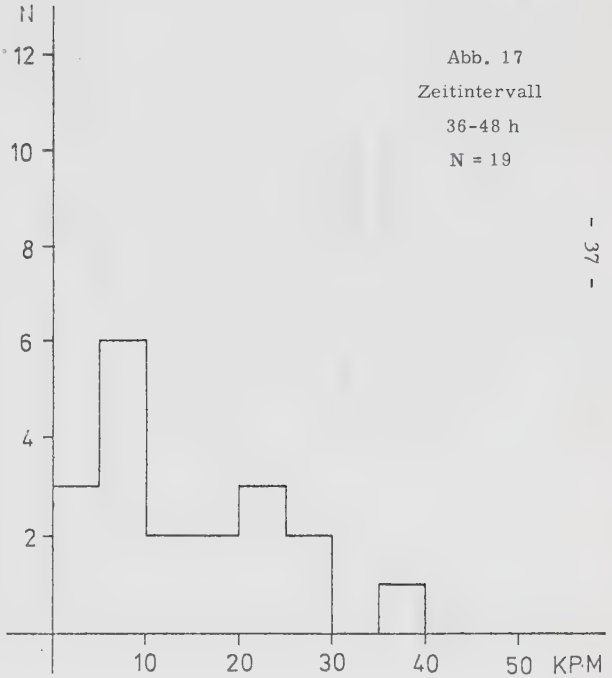


Abb. 17
Zeitintervall
36-48 h
N = 19



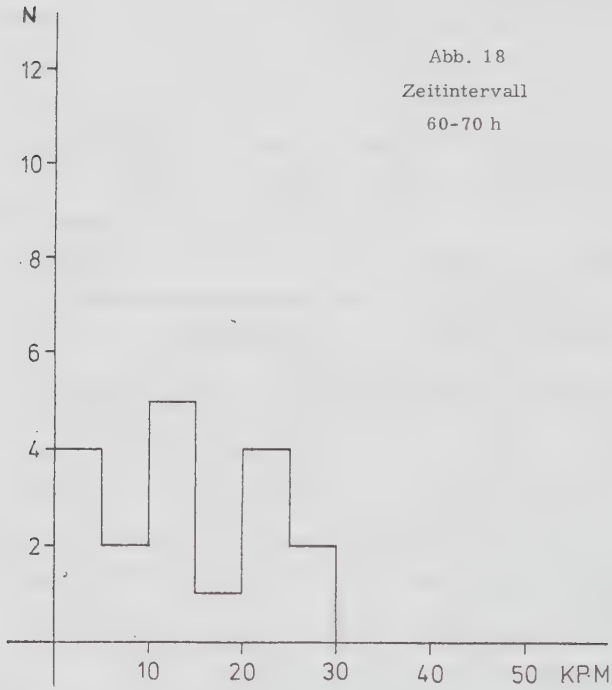


Abb. 18
Zeitintervall
60-70 h

Auf der Abszisse sind die Kraftmomente in kpm, auf der Ordinate die Anzahl der Meßwerte in dem Zeitintervall aufgetragen. Die so erhaltenen Verteilungen bieten nicht das Bild von Normalverteilungen, sondern laufen als positiv schiefe, linksseitige Verteilungen rechts flach aus. Eine sachliche Begründung, daß sich die ermittelten Ver-

teilungen nicht symmetrisch normal verteilen, liegt wohl darin, daß die Meßwerte linksseitig nicht ≤ 0 werden können. Sie können somit einen bestimmten Schrankenwert nicht unterschreiten und sind nach dieser Seite hin in ihrer Variationsmöglichkeit gehemmt.
Es bietet sich nun die Möglichkeit an, durch Anwendung einer logarithmischen Normalverteilung, die Verteilungen in den erwähnten Zeitintervallen hinreichend genau zu beschreiben.

4.2.1 Anwendung der logarithmischen Normalverteilung

Es wird durch das Logarithmieren der Bereich zwischen 0 und 1 in den Bereich von $-\infty$ bis 0 überführt, somit der linke Teil der Verteilung gestreckt und annähernd normalverteilte Werte erzielt.
Während bei der Normalverteilung das Zusammenwirken vieler Einflußfaktoren additiv zustandekommt, verhalten sich die Einflußfaktoren bei der Lognormalverteilung multiplikativ zueinander. Deswegen herrschen sie insbesondere bei biologischen Merkmalen und Zeitstudien vor. Da die verschiedenen Einflußfaktoren bei der Totenstarre, die die Streuung der Werte bewirken, sich eher multiplikativ als additiv verhalten, erscheint die Anwendung einer Lognormalverteilung auch sachlich gerechtfertigt.
Die Prüfung im Wahrscheinlichkeitsnetz mit logarithmisch geteilter Abszisse bestätigt in den angegebenen Zeitbe-

reichen vor allem im Bereich 12 - 24 Std. mit hinreichend großer Fallzahl diese Annahme, da die eingetragenen Werte eine annähernd lineare Tendenz aufweisen (Abb. 19).
Zur Darstellung im Wahrscheinlichkeitsnetz wurden die Kraftmomente der Beine männlicher Leichen für die Zeitintervalle 12 - 24 Std., 36 - 48 Std. und 60 - 72 Std. herangezogen.

4.3 Obere 95%-Toleranzgrenzen der Starremomente

Unter Zugrundelegung einer Lognormalverteilung wurden für die einzelnen Zeitintervalle Mittelwerte und Streuungen errechnet und daraus für jedes Intervall der zentrale 90%-Toleranzbereich ermittelt. Die obere Grenze des 90%-Toleranzbereiches entspricht der einseitigen, oberen 95%-Toleranzgrenze.
In Abb. 20 sind die so ermittelten Grenzen für männliche Arme über der jeweiligen Klassenmitte aufgetragen.
Der erste obere Grenzwert wird bei 12 Std. für das Zeitintervall 6 - 18 Std. angegeben, der letzte bei 90 Std. für das Zeitintervall 84 - 96 Std. Durch die Verbindung der einzelnen Grenzwertpunkte erhält man einen ersten Aspekt des Verlaufs der die Meßwerte nach oben hin begrenzenden Kurven und der Größe der Streuung.
Der Zeitbereich von 12 - 36 Std., der die meisten Meßwerte enthält, zeigt graphisch eine relativ geringere Streuung als die nachfolgenden Zeitbereiche von 36 - 96 Std.

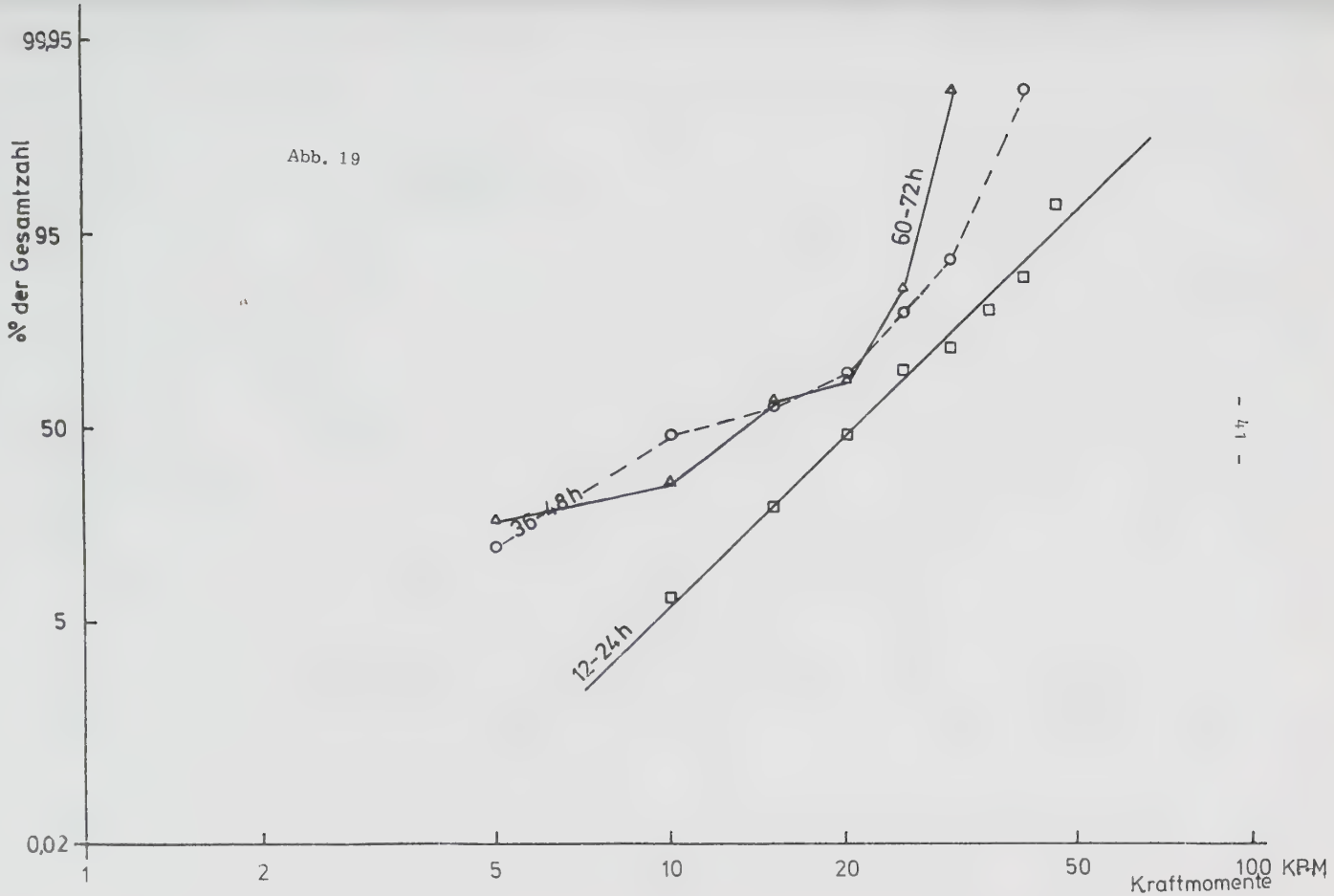
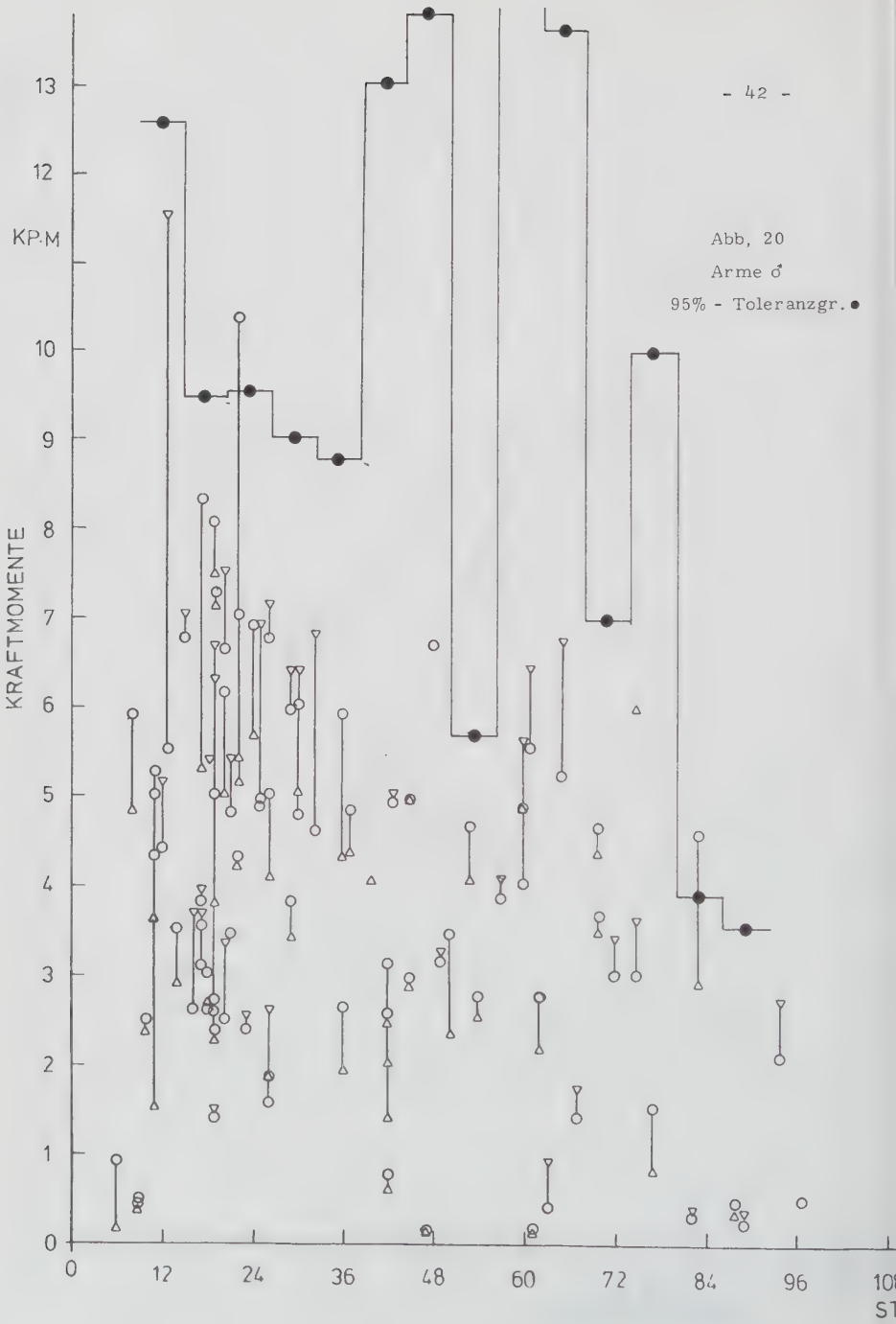


Abb. 19
% der Gesamtzahl
99,95
95
50
5
0,02
1
2
5
10
20
50
100 KPM
Kraftmomente
36-48h
60-72h
12-24h



Abb, 20
Arme ♂
95% - Toleranzgr. ●

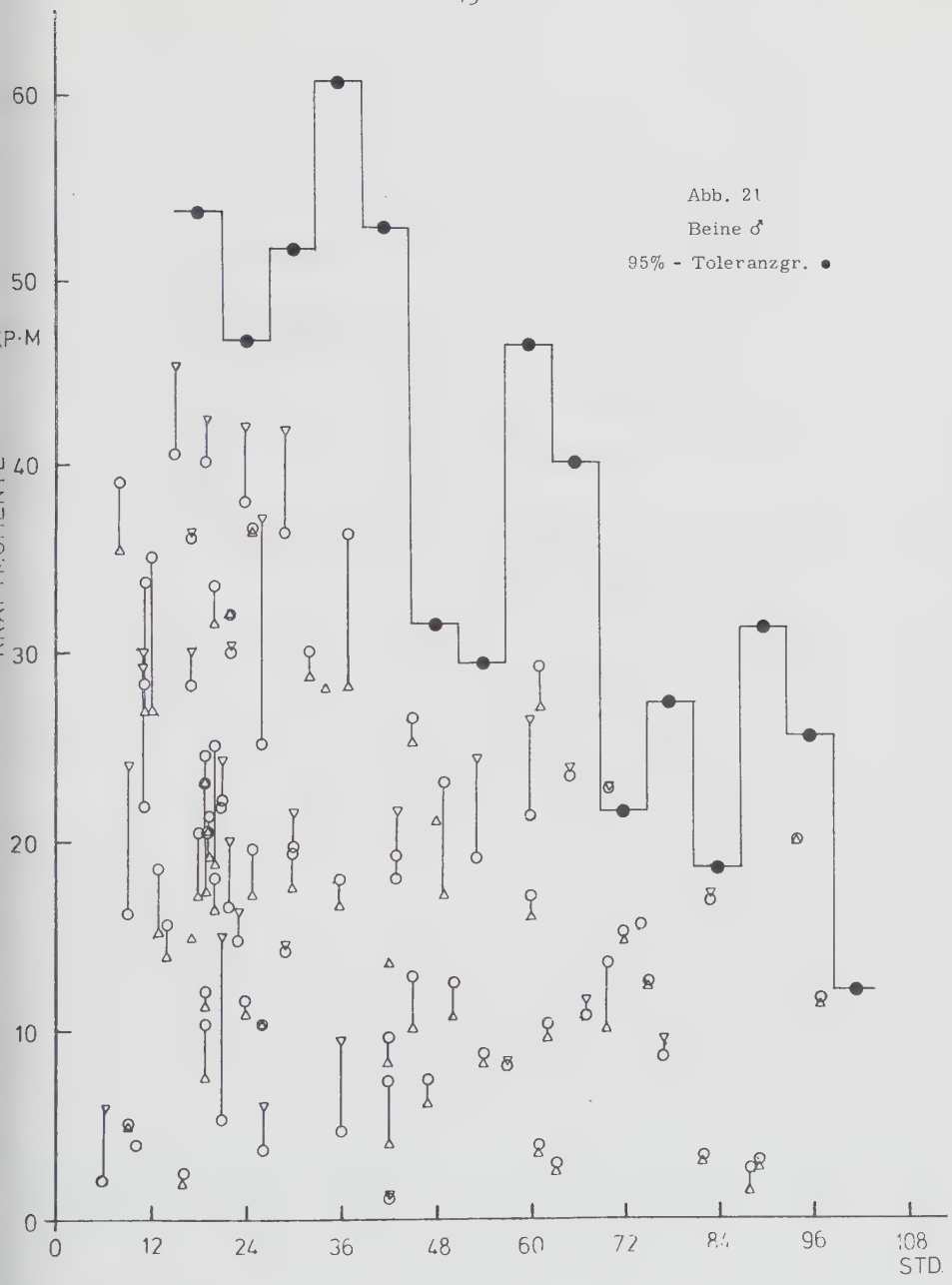


Abb. 21
Beine ♂
95% - Toleranzgr. ●

Die oberen 95%-Toleranzgrenzen für die ermittelten Meßwerte an den Beinen männlicher Leichen wurden in Abb. 21 aufgetragen. Der erste Wert ist bei 18 Std. für den Bereich 12 - 24 Std., der letzte Wert bei 102 Std. für den Bereich 96 - 108 Std. aufgetragen. In Vergleich zu Abb. 20 erscheint - graphisch betrachtet - die Streuung geringer und die erhaltene Folge der oberen Grenzwerte scheint steiler abzufallen.
Bei entsprechender halblogarithmischer Auftragung sollte sich die obere Grenzkurve als Gerade darstellen.

4.4 Halblogarithmische Darstellung der Kraftmomente und 95%-Toleranzgrenzwerte

Bei der Abb. 22 ist auf der Abszisse in gleicher Weise wieder die Liegezeit aufgetragen. Auf der Ordinate sind im logarithmischen Maßstab die Kraftmomente aufgetragen, die an den Armen gewonnen wurden. Gleichzeitig sind die oberen 95%-Grenzwerte - markiert durch einen Punkt - jeweils über der Klassenmitte in logarithmischem Maßstab eingezeichnet.
Es fällt auf, daß die Meßwerte zur oberen Grenze hin zusammenrücken und darunter im Bereich geringerer Kraftmomente ein freies Feld entsteht. Statt der erwarteten Geraden als obere Grenzkurve bildet sich wegen der relativ geringen Fallzahl und der großen Streuung jedoch ein oberes Grenzband.

Abb. 22
Arme ♂
oberes Grenzband

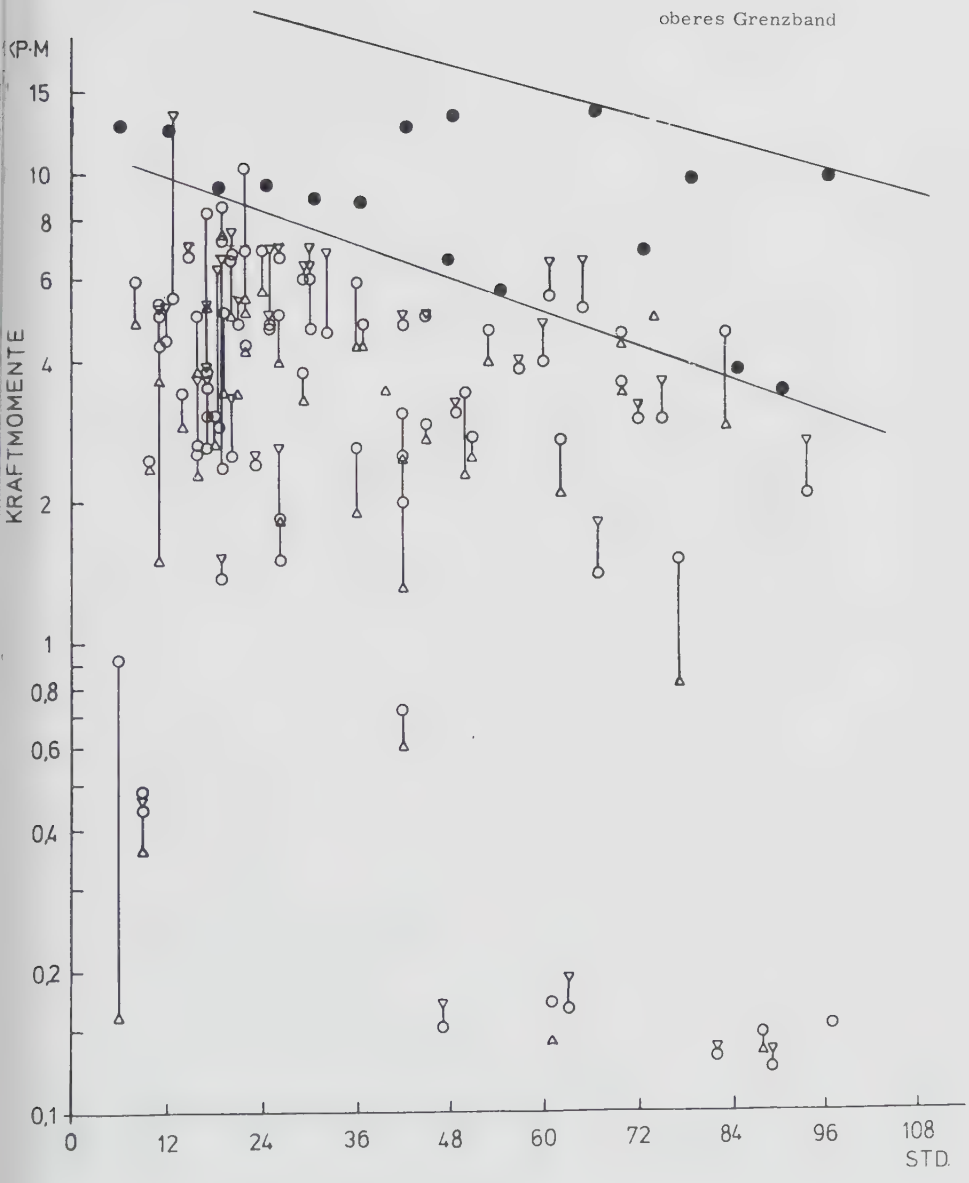
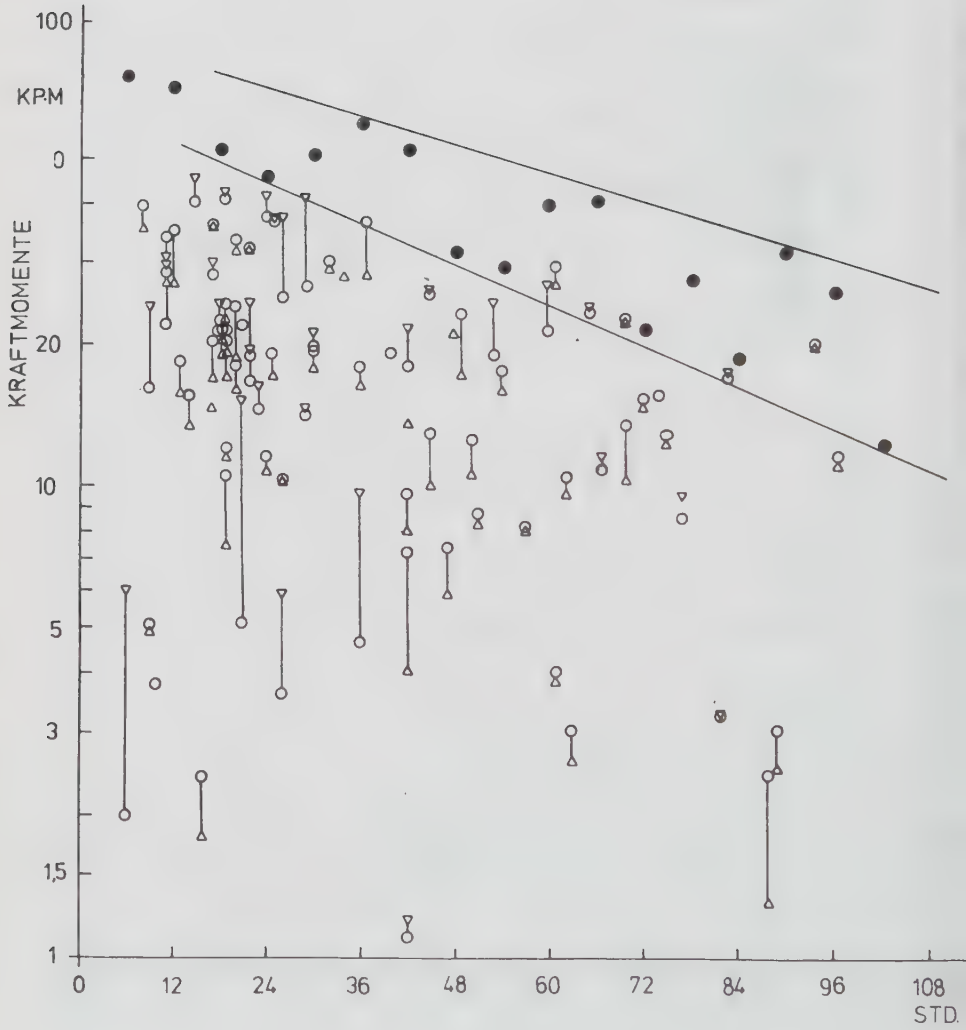


Abb. 23
Beine ♂
oberes Grenzband



In der Abb. 22 wurde es willkürlich so eingezeichnet, daß alle für die einzelnen Klassen berechneten oberen Genzwerte innerhalb dieses oberen Bandes liegen.
Die Abb. 23 zeigt in entsprechender Darstellung die an den Beinen gewonnenen Meßwerte. Der Verlauf des durch die beiden Geraden dargestellten oberen Grenzbandes zeigt jetzt deutlicher die unter Punkt 4.3 geäußerte Vermutung, daß die Streuung der oberen Grenzwerte bei den Beinen geringer ist.

4.5 Kraftmomente bezogen auf den Muskelquerschnitt (U^2)

Wie bereits erwähnt, schlägt Forster bei der Entwicklung des FRR-Index vor, die Dicke der Muskulatur in die Berechnung einzubeziehen. Dazu wurde der Oberarmumfang gemessen. Der Meßwert U wird als Quadrat angegeben, damit die Unterschiede zwischen dicker und dünner Muskulatur ihrer Fläche entsprechend, also ihres Muskelquerschnitts, miteinander in Beziehung gesetzt werden können.
Bezieht man diesem Vorschlag folgend, die Kraftmomente auf das Quadrat des Oberarmumfanges, ergibt sich bei graphischer Darstellung folgende Verteilung der Meßwerte (Abb. 24).
Auf der Abszisse ist in gewohnter Weise die Liegezeit, auf der Ordinate sind die Kraftmomente abhängig vom Mus-

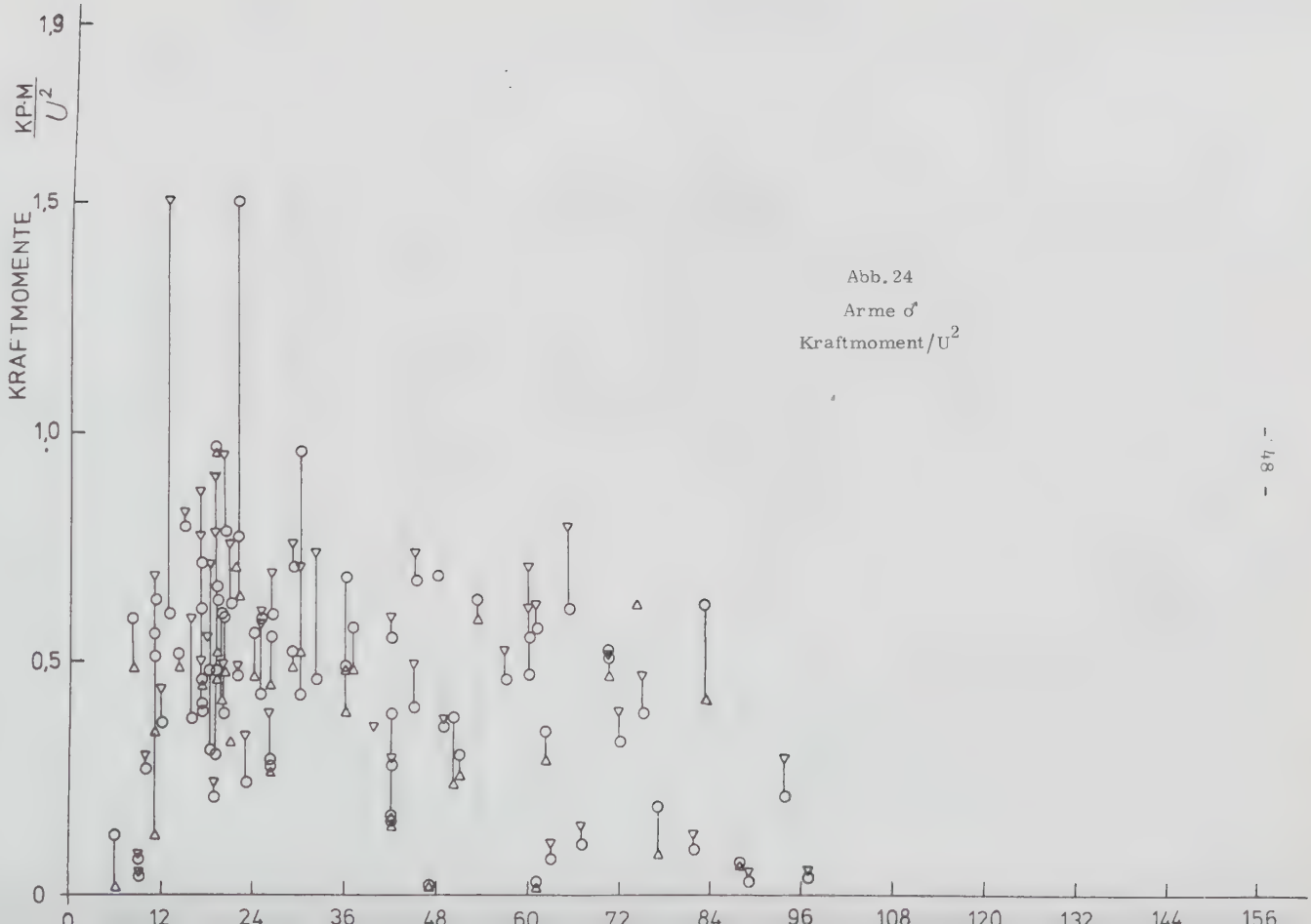


Abb. 24
Arme σ
Kraftmoment/U^2

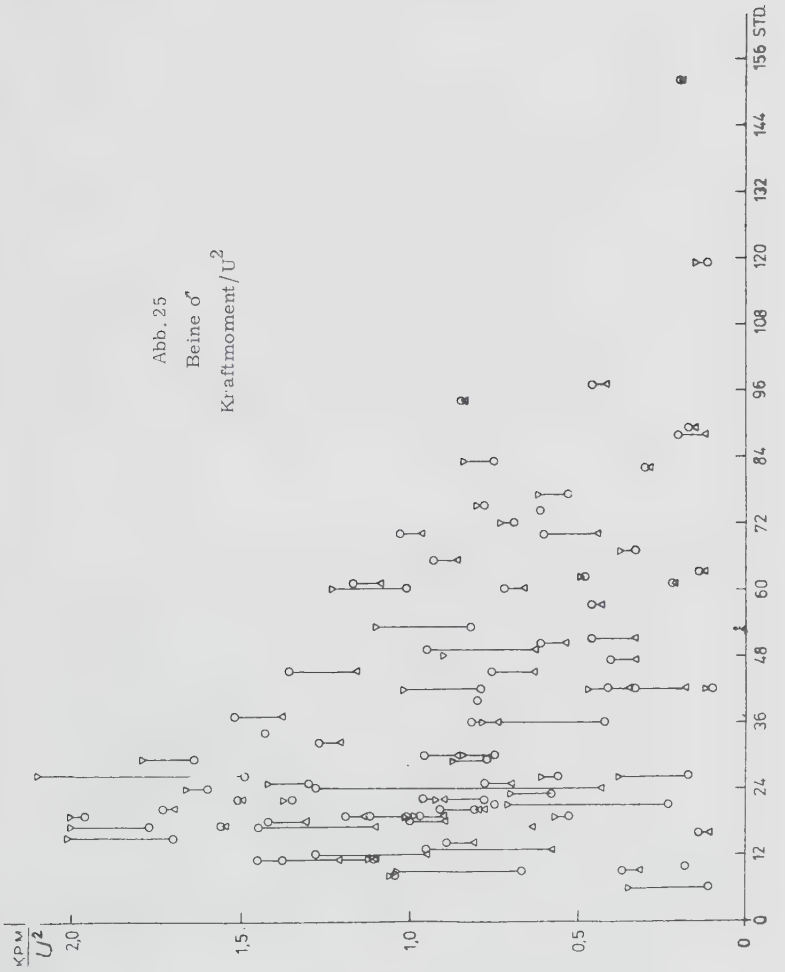


Abb. 25
Beine σ
Kraftmoment/U^2

kelquerschnitt (kpm/U^2) aufgetragen. Man sieht im Vergleich zur entsprechenden graphischen Darstellung der Kraftmomente unabhängig von U^2 (Abb. 14), daß in Abb. 24 die Meßwerte enger beieinander liegen und eine geringere Streuung aufweisen.

4.5.1 Die Kraftmomente bezogen auf den Oberschenkelquerschnitt von den Beinen männlicher Leichen zeigt die Abb. 25. Auch hier fällt im Vergleich zur entsprechenden Darstellung ohne Einbeziehung von U^2 (Abb. 15) auf, daß die Meßwerte enger zueinander gerückt sind. Außerdem erkennt man einen steileren Abfall der Meßwerte mit zunehmender Liegezeit.

4.5.2 Obere 95%-Toleranzgrenzwerte der Kraftmomente/U^2

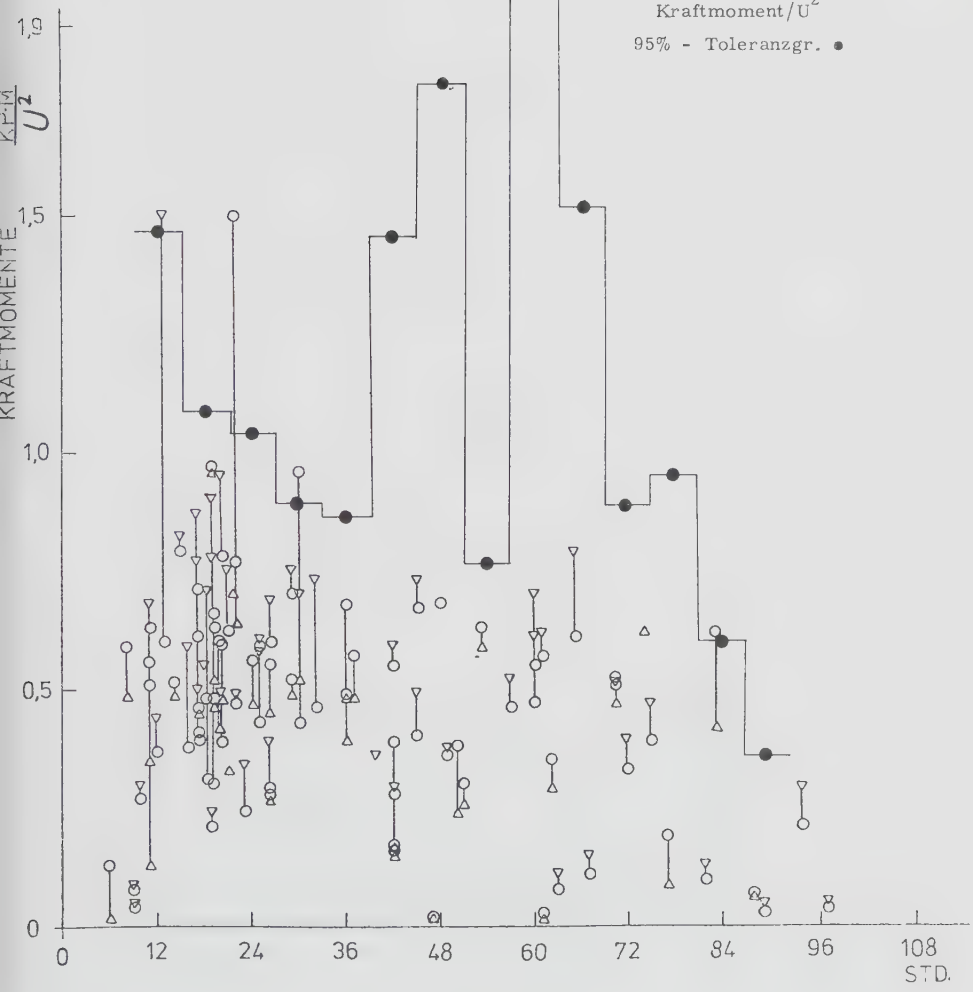
Verfährt man mit den auf U^2 bezogenen Kraftmomenten statistisch genauso wie mit den Werten ohne Bezug zum Muskelquerschnitt, erhält man die 95%-Toleranzgrenzen für die einzelnen Zeitintervalle, die für die Arme in Abb. 26 zu sehen sind. Der Vergleich mit der Abb. 20 läßt eine geringere Streuung vermuten.
Die oberen 95%-Toleranzgrenzen der Kraftmomente/U^2, die sich auf die Messungen an den Beinen stützen (Abb. 27), bestärken die Annahme einer geringeren Streuung. Vergleiche mit Abb. 21.
Bei halblogarithmischer Auftragung der Meßwerte sollte sich dieses Annahme noch klarer herausstellen.

Abb. 26

Arme ♂

Kraftmoment/U^2

95% - Toleranzgr. ●



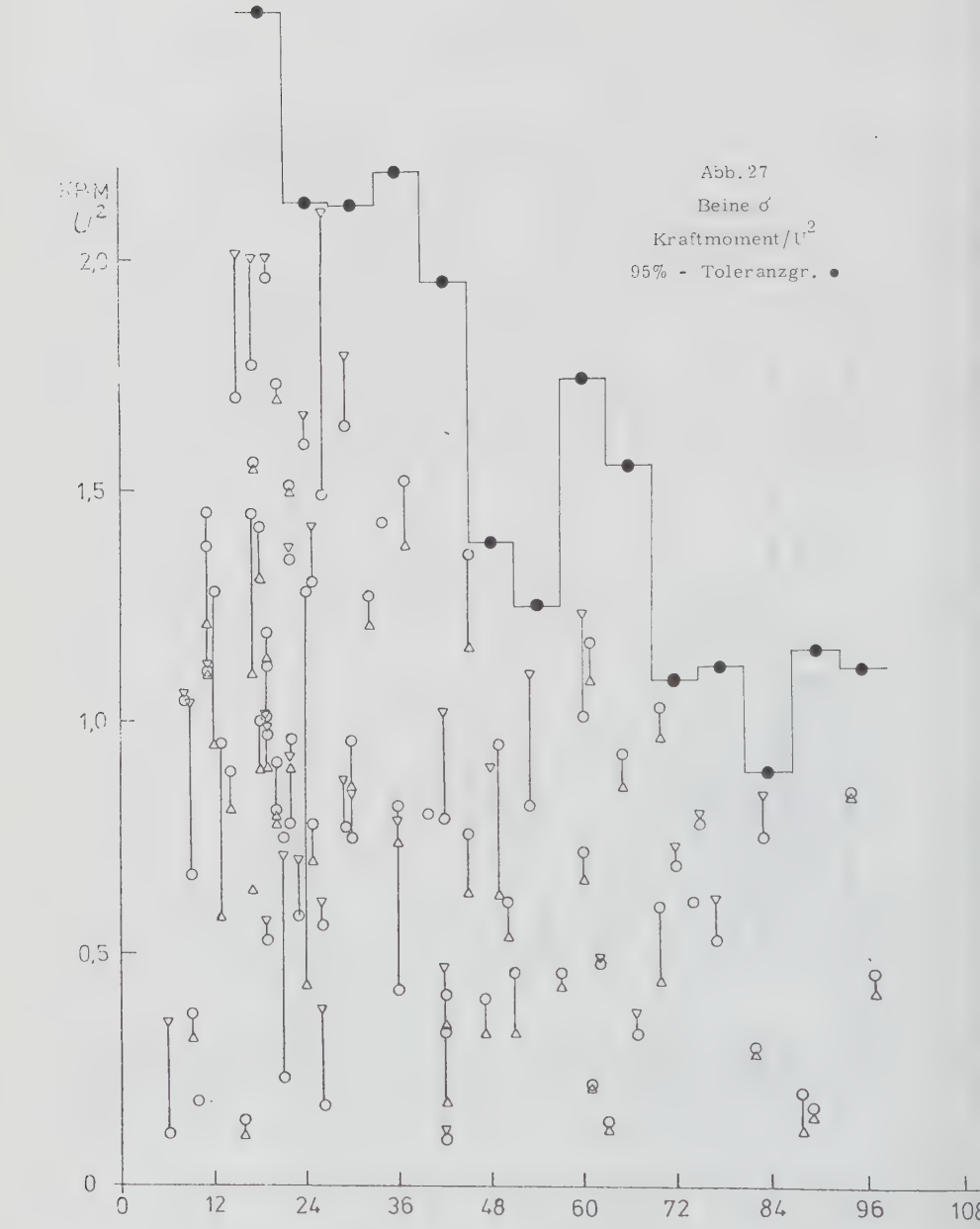


Abb. 27
Beine ♂
Kraftmoment/U²
95% - Toleranzgr. •

4.5.3 Halblogarithmische Darstellung der Kraftmomente/U^2 und der oberen 95%-Toleranzgrenzwerte (Arme ♂)

Die Abb. 28 stellt die Kraftmomente bezogen auf den Muskelquerschnitt (kpm/U^2) halblogarithmisch dar. Die Meßwerte sind im Bereich von 12 - 60 Std. Liegezeit noch enger zusammengerückt, wie der Vergleich mit Abb. 22 zeigt. Daraus ergibt sich ein meßwertfreier Bereich von 0,01 bis ca. 0,3 kpm/U^2. Kraftmomente ab 0,5 kpm/U^2 und kleiner entsprachen während der Messungen dem Eindruck der vollständig gelösten Totenstarre.
Abb. 28 zeigt, daß entsprechende Meßwerte bei Liegezeiten von 6 - 90 Std. gefunden wurden. Die Werte für die Liegezeiten von 6 und 9 Std. können jedoch dahingehend interpretiert werden, daß sie einer noch nicht ausgeprägten Leichenstarre entsprechen, da der Zeitpunkt der Messung noch in der Erstarrungsphase lag.
Betrachtet man das obere Grenzband, so bestätigt sich nun deutlich eine geringere Streuung (vgl. Abb. 22).

4.5.3.1 Halblogarithmische Darstellung der Kraftmomente/U^2 und der oberen 95%-Toleranzgrenzwerte (Beine ♂)

Anhand der Abb. 29 verdeutlicht sich im Vergleich zur Abb. 23, daß sich bei Berücksichtigung von U^2 eine geringere Streuung der oberen Grenzwerte ergibt.
Die rechnerische Ermittlung der Korrelation (r) zur

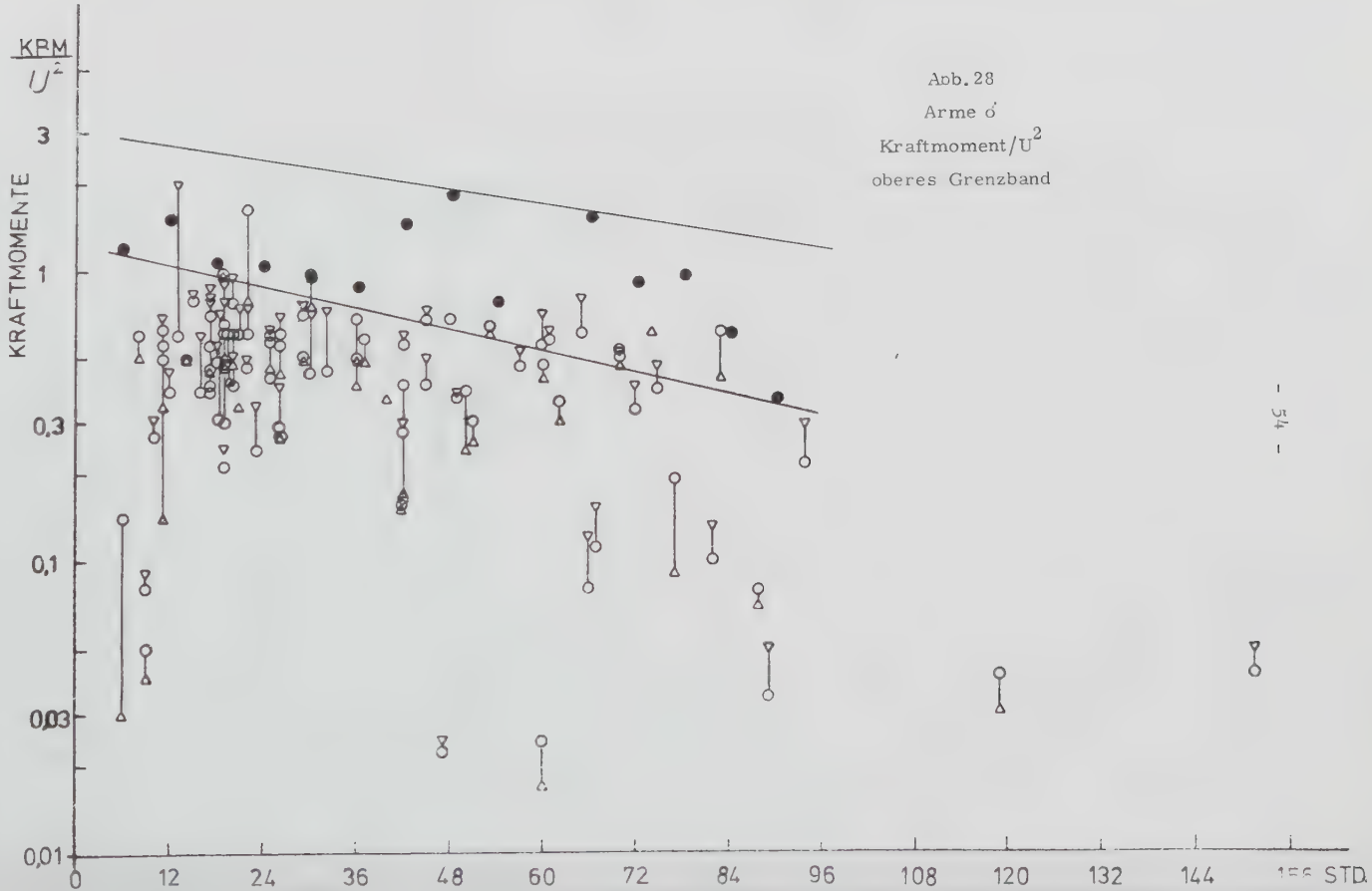


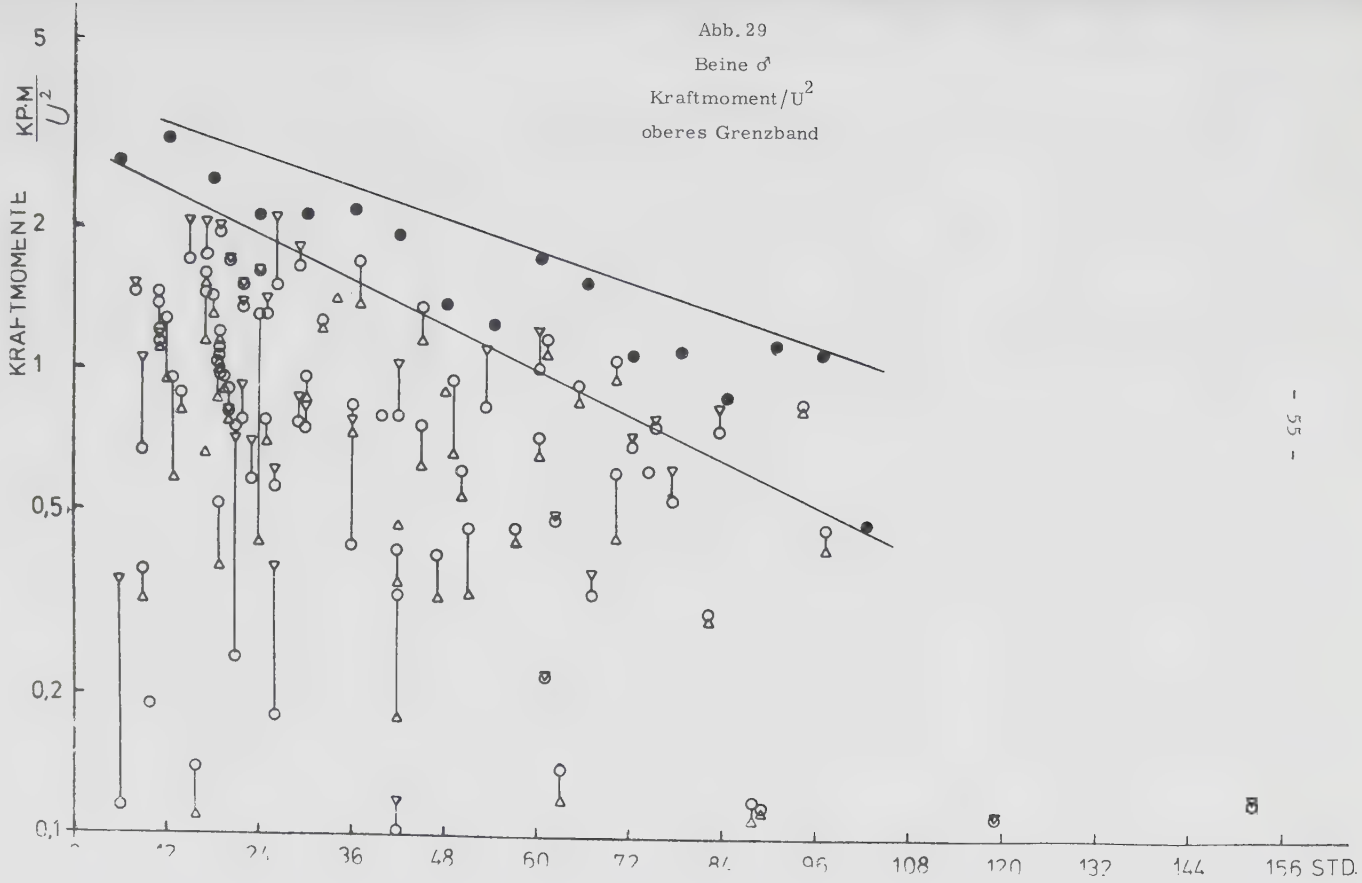
Abb. 28
Arme ó
Kraftmoment/U^2
oberes Grenzband

Abb. 29

Beine ♂

Kraftmoment/U^2

oberes Grenzband



Liegezeit zwischen den Kraftmomenten ohne Bezug zum Quadrat des Oberschenkelumfanges und der Kraftmomente/U^2 ergab einen Unterschied der Korrelationen von $r_1 = -0,41$ zu $r_2 = -0,36$ (r_1 = Kraftmomente ohne U^2).
Ein Einfluß des Muskelquerschnitts auf die zum Brechen der Totenstarre erforderlichen Kraftmomente erscheint demnach zumindest nich unwahrscheinlich.

4.5.4 Rücktransformation der oberen Grenzbänder

Wird das in halblogarithmischer Darstellung gewonnene obere Grenzband in nicht logarithmischer Form aufgetragen, so ergibt sich eine Art Hüllkurve. Die Abb. 30 und 31 zeigen diese Hüllkurven für die Kraftmomente ohne Bezug zum Muskelquerschnitt. Die Abb. 32 und 33 in entsprechender Weise für die Kraftmomente/U^2.
Bei Vergleich der Abb. 30 und 32 (Arme) bzw. Abb. 31 und 33 (Beine) erkennt man auch hier, daß die Hüllkurven über den Kraftmomenten/U^2 eine geringere Streuung beinhalten.

4.6 Eigengewicht bzw. Leerwert der Extremitäten

Bei der Untersuchung wurde auch, wie erwähnt, stets das Eigengewicht des Unterarmes und des Unterschenkels als sog. Leerwert gemessen. Dieser Leerwert wurde anschliessend bei der Auswertung der Meßergebnisse nicht berücksichtigt. Er sollte ursprünglich von der zur Brechung

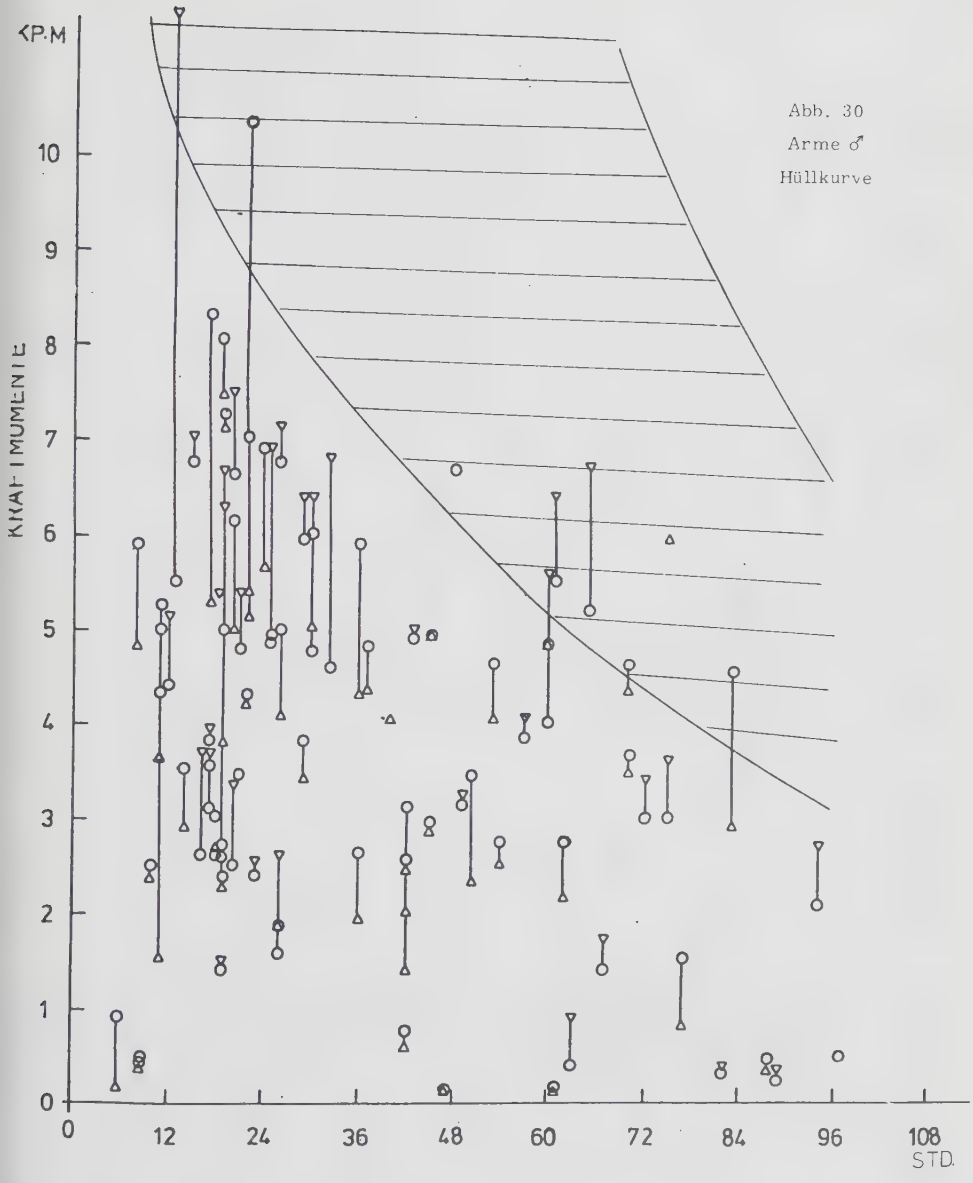
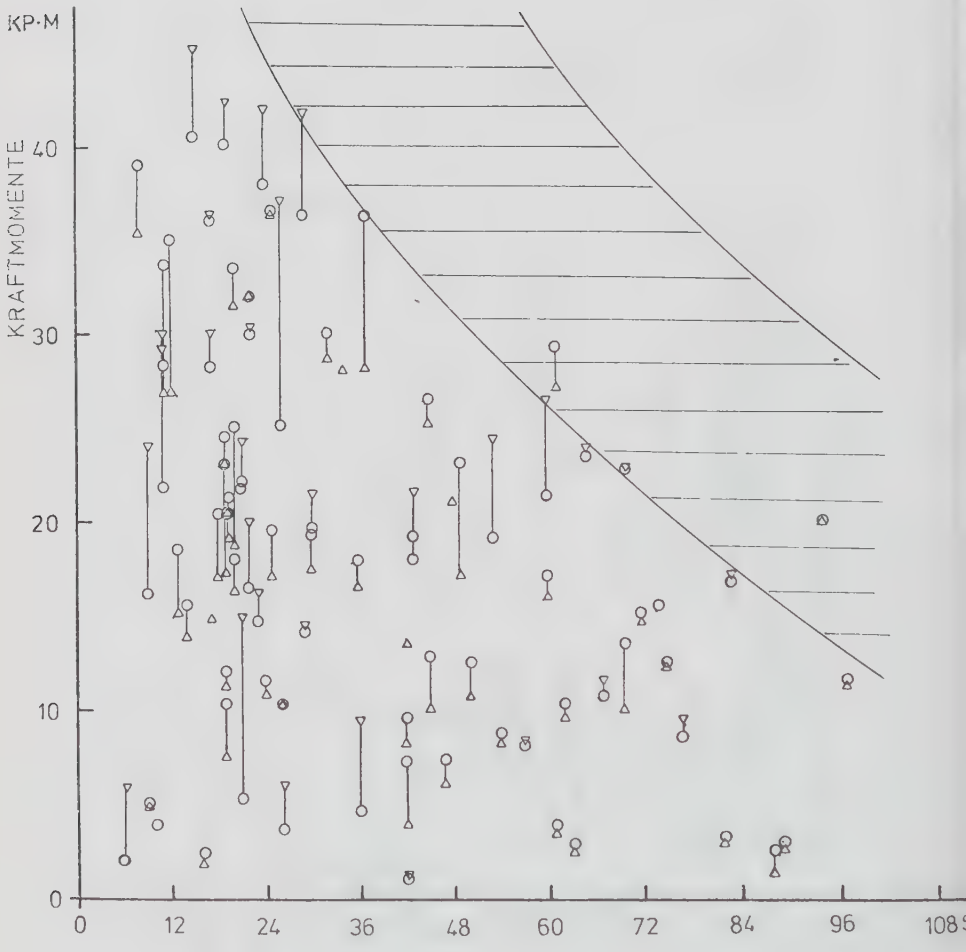


Abb. 30
Arme ♂
Hüllkurve

Abb. 31
Beine ♂
Hüllkurve



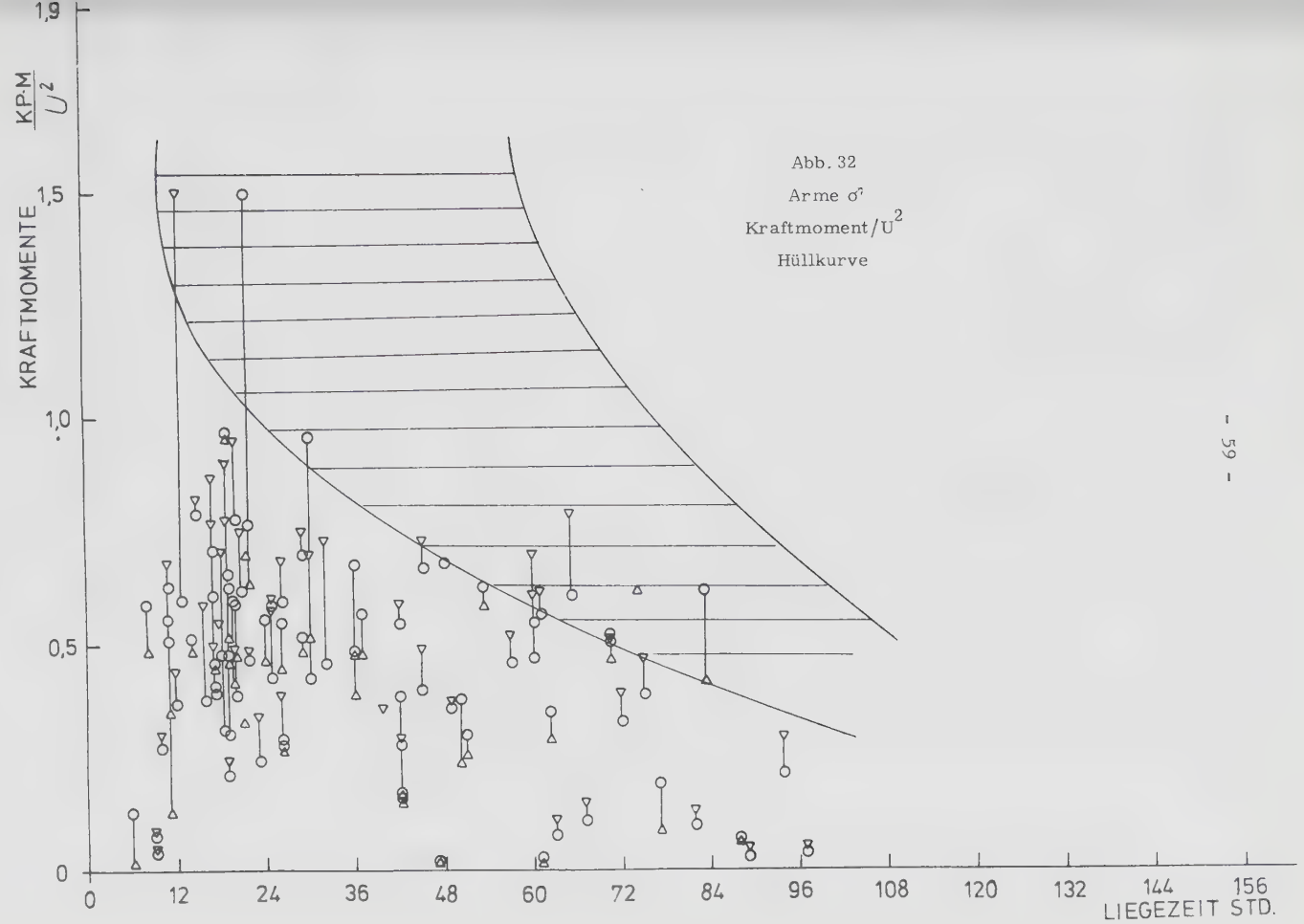


Abb. 32
Arme ♂
Kraftmoment/U^2
Hüllkurve

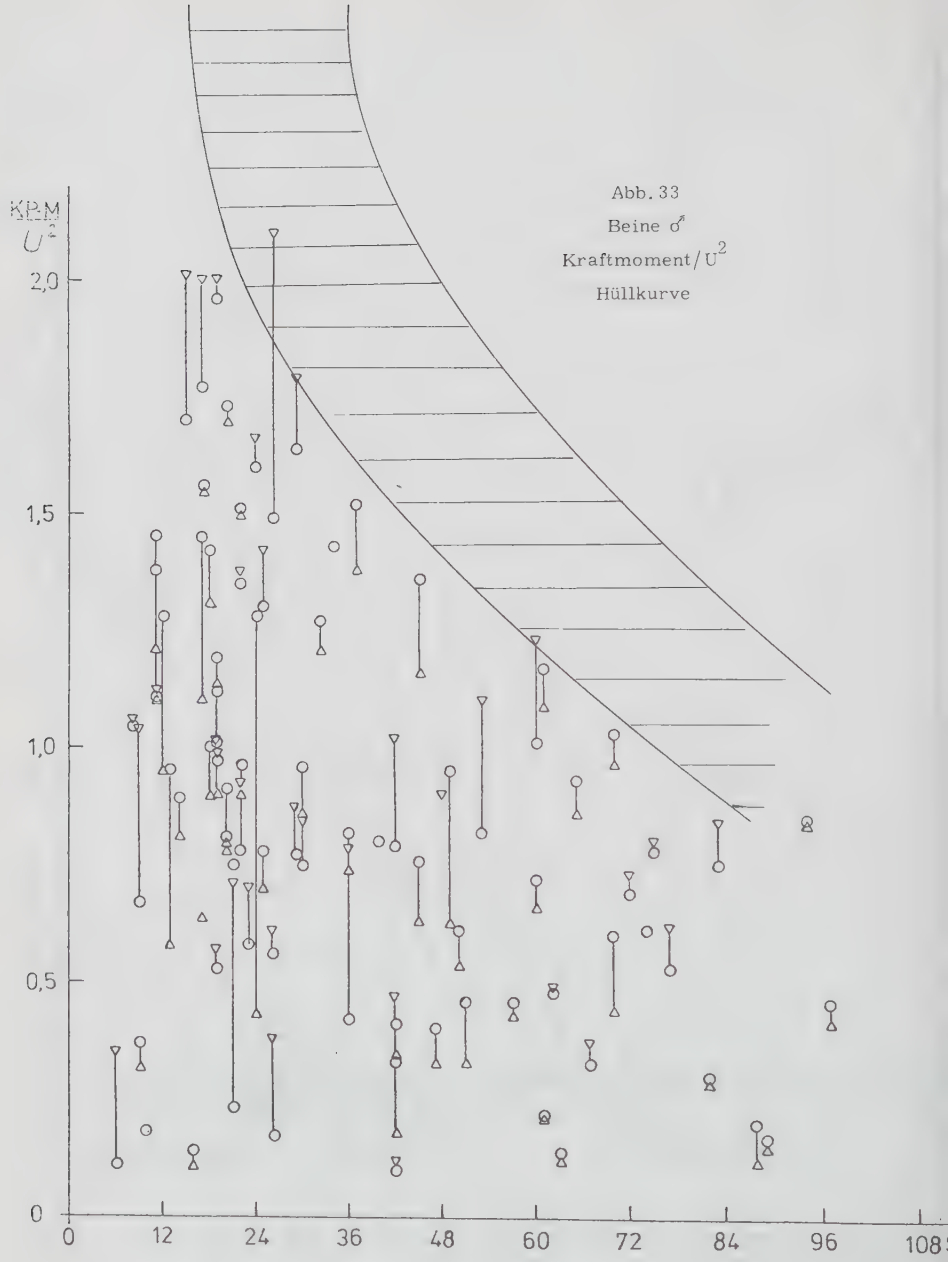


Abb. 33
Beine ♂
Kraftmoment/U^2
Hüllkurve

der Totenstarre erforderlichen Zugkraft subtrahiert werden. Damit sollte dem Eigengewicht der Extremität ein eventueller Einfluß auf Zugkraft und Winkelgeschwindigkeit eingeräumt werden.

Wegen der geringen Meßgrößen, die bei den Armen zwischen 0,5 kp und 6 kp liegen - davon 90% zwischen 1,5 und 2,5 kp - und bei einer Meßungenauigkeit von 0,2 kp und einer Ableseungenauigkeit von 0,5 kp, erwies sich diese Meßgröße als zu ungenau und nicht vorteilhaft.

5.0 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit versucht durch meßtechnische Erfassung der Totenstarre an menschlichen Leichen in situ, eine exaktere Schätzung des Todeszeitpunktes zu ermöglichen.

An 84 männlichen Leichen wurde die Abhängigkeit der Leichenstarre von der Liegezeit untersucht. Die dazu entwickelte Meßmethodik gewährleistet darüberhinaus, daß weitere Meßergebnisse durch die leicht reproduzierbare Meßanordnung objektiv gewonnen werden können.

Folgende Kriterien gelangten dabei zur Auswertung:

Die zur Brechung der Leichenstarre benötigte Zugkraft; die Länge des Unterarmes und des Unterschenkels als Hebelarm; das Quadrat des Umfangs des Oberarmes und Oberschenkels; die Liegezeit, d.h. die Zeit vom Tod bis zur Messung.

Das Produkt aus Zugkraft und Hebelarm wurde als Kraftmoment definiert. Die Auswertung der Meßergebnisse, wobei die Abhängigkeit zwischen Kraftmomente und Liegezeit statistisch ausgewertet und graphisch dargestellt wurde, brachte folgende Ergebnisse:

1. a) Zwischen den in der Untersuchung gemessenen Kraftmomenten und der Liegezeit ist ein direkter funktioneller Zusammenhang nicht erkennbar.

   b) Unter Annahme einer Lognormalverteilung der gemessenen Kraftmomente zu gegebener Liegezeit wurden

für Zeitintervalle mit einer Klassenbreite von jeweils 12 Std. 95%-Toleranzgrenzen berechnet. Daraus ließ sich eine Hüllkurve bzw. ein oberer Grenzbandbereich konstruieren, der den Punkthaufen momentaner und einmaliger Stichproben aus individuellen Starrekurven begrenzt.

c) Da insbesondere für höhere Liegezeiten sich wegen der zu geringen Fallzahl Werte ergäben, die ohne realistischen Bezug zu den tatsächlichen von den Meßwerten eingenommenen Bereichen stünden, wurde von der Angabe von Vertrauensgrenzen mit hinreichend niedriger Irrtumswahrscheinlichkeit abgesehen.

d) Betrachtet man die graphischen Darstellungen, so fällt auf, daß dieser Grenzbandbereich die Ausprägung der Starre nach oben hin begrenzt. Unterhalb dieses Grenzbandbereiches jedoch erscheint jeder Meßwert möglich.

2. a) Bezieht man die Kraftmomente auf den Muskelquerschnitt, so fällt eine geringere Streuung des oberen Grenzbandes auf.
Es erscheint demnach sinnvoll, die Dicke der Muskulatur bei der meßtechnischen Erfassung der Totenstarre zu berücksichtigen.

b) Bei den Beinen ist die Abnahme der Streuung auffälliger als bei den Armen. Ein Grund könnte in

der Tatsache liegen, daß die Messungen an den Armen ohne Hebelapparatur erfolgten, so daß der Vorteil der Hebelapparatur, die eine stets senkrecht auf den Hebelarm einwirkende Zugkraft gewährleistete, nicht in dem Maße gegeben war.

3. a) Eine Beeinflussung durch die Temperatur hinsichtlich des Verlaufs der Starre und der Streuung der Meßwerte kann nicht ausgeschlossen werden.
Die Messungen wurden bei Lager- bzw. Extremitätentemperaturen von $4^{\circ}C \pm 1^{\circ}C$ vorgenommen und gelten für diesen Bereich.
Über die "Temperaturvorgeschichte", die Temperatur, in der sich die Leichen vor ihrer Einlieferung ins Institut befunden haben, gibt es allerdings keine genauen Anhaltspunkte. Sie schwankt von niedrigen Temperaturen in Leichenräumen der Krankenhäuser bis zu warmen sommerlichen Außentemperaturen.

b) Auch die Todesart und ihr Einfluß auf die Leichenstarre wurde in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt.

4. Ein teilweise erheblicher Unterschied fällt in der Ausprägung der Starre zwischen rechter und linker Extremität der gleichen Leiche auf. Bezieht man die Unterschiede auf die Liegezeit, so erscheinen

sie ausgeprägter, je kürzer die Liegezeit ist. Die Bevorzugung einer Seite ist nicht mit Sicherheit nachzuweisen.

5. Hinsichtlich der Schätzung des Todeszeitpunktes ist nach obiger Untersuchung der Totenstarre aufgrund des ermittelten Grenzkurvenbandes eine Aussage in der Weise möglich, daß bei einem gegebenen Starremoment der Todeszeitpunkt nicht länger zurückliegen kann, als die obere Grenzkurve unter Berücksichtigung der entsprechenden Irrtumswahrscheinlichkeit erlaubt.

6.0 Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

6.1 Tabellen

I. Totenstarre beim Erwachsenen nach Mallach (1964, z.T. nicht veröffentlich).

II. Totenstarreablauf an Leichen in einem Lebensalter von mindestens 10 Jahren (Mittmeyer).

III. Zeitspanne vom Tod bis zum Beginn der Erstarrung in Min. Bei Raum- (24°C), Inkubator- (38°C) und Kühlschranktemperatur (4°), gemessen an Mm. Gastrocnemii weißer Ratten (nach Forster).

IV. Zeit vom Beginn der Erstarrungsphase bis zur maximalen Verkürzung. Bei Raum- (24°C), Inkubator- (38°C) und Kühlschranktemperatur (4°C), gemessen am Mm. Gastrocnemii weißer Ratten (nach Forster).

6.2 Abbildungen

1. Demonstration der elastischen und plastischen Veränderungen durch Messungen an Skelettmuskeln mit zunehmenden und abnehmenden Gewichten. Ordinate zeigt Längenänderung in cm. Auf der Abszisse sind die Logarithmen der entsprechenden Gewichte aufgetragen (nach Forster).

2. Halbschematische Form der Spannungs-Dehnungskurve frischer (fr) und totenstarrer (ts) menschlicher Skelettmuskelfasern, Als Ruhelänge ist die Länge gewählt, bei der der Dehnung eine gerade meßbare Kraft entgegengesetzt wird (nach Zink).

3. Beispiel für die Veränderung von Muskellänge, Steifheit und Plastizität eines menschlichen M. Sartorius während des 1. Tages nach dem Tod. Die typischen Veränderungen bei Eintritt der Starre (ca. 8-11 Std. p.m.)

sind zu erkennen: Verkürzung, Versteifung und Abnahme der Plastizität (abgeändert nach Zink).

4. Halbschematische Darstellung des Verlaufs der Totenstarre am Einzelmuskel. Als Meßwert für die Intensität der Totenstarre wurde die Verkürzung verwendet; die gesamte Verkürzung wurde mit 100% bezeichnet. Die Pfeile sollen das Brechen der Totenstarre andeuten. Der bogenförmige Verlauf der Intensitätskurven entspricht dem Verlauf der Änderungen von Länge und Steifheit des Muskels (nach Zink).

5. Zeitlicher Verlauf der Totenstarre in Abhängigkeit von Inkubator- (A), Raum- (B) und Kühlschranktemperatur (C) (nach Forster).

6. Maximum-Federwaage für bestimmten Meßbereich (Forster).

7. Meßgrößen für den FRR-Index.

8. Messung der Totenstarre (nach Forster et al.).

9. Schema zu Verlauf der Totenstarre. Gestrichelte Kurve: tatsächlicher Rigorverlauf, gemessen mit der Federwaage. Unteres Feld: subjektiver Eindruck bei herkömmlicher manueller Prüfung. Ordinate: FRR-Indices, Abszisse: Std. p.m. - abhängig von der Umgebungstemperatur (nach Forster).

10. Lebensalter der untersuchten Leichen (N = 84).

11. Körpergewicht der untersuchten Leichen (N = 84).

12. Körpergröße der untersuchten Leichen (N = 84).

13. a) Meßapparatur in situ vor der Messung.
    b) " in " nach der Messung.

14. Kraftmomente (Starremomente) in Abhängigkeit von der Liegezeit (Arme).

15. Kraftmomente (Starremomente) in Abhängigkeit von der Liegezeit (Beine).

16. Häufigkeitsverteilung der Meßwerte für das Zeitintervall 12 - 24 Std., $N_{ges.}$ = 52 (Beine).

17. Häufigkeitsverteilungder Meßwerte für das Zeitintervall 36 - 48 Std., $N_{ges.}$ = 19 (Beine).

18. Häufigkeitsverteilung der Meßwerte für das Zeitintervall 60 - 72 Std., $N_{ges.}$ = 19 (Beine).

19. Wahrscheinlichkeitsnetz mit logarithmisch geteilter Abszisse für die Meßwerte der Zeitintervalle 12 - 24 Std., 36 - 48 Std. und 60 - 72 Std.

20. Obere 95%-Toleranzgrenze der Kraftmomente (Arme).

21. " " der " (Beine).

22. 95%-Toleranzgrenze halblogarithmisch (Arme).

23. " " (Beine).

24. Kraftmomente/U^2 in Abhängigkeit von der Liegezeit (Arme).

25. Kraftmomente/U^2 in Abhängigkeit von der Liegezeit (Beine).

26. Obere 95%-Toleranzgrenze der Kraftmomente/U^2 (Arme).

27. Obere 95%-Toleranzgrenze der Kraftmomente/U^2 (Beine).

28. 95%-Toleranzgrenze halblogarithmisch aufgetragener Kraftmomente/U^2 (Arme).

29. 95%-Toleranzgrenze halblogarithmisch aufgetragener Kraftmomente/U^2 (Beine).

30. Hüllkurve für Kraftmomente (Arme).

31. " für " (Beine).

32. " für Kraftmomente/U^2 (Arme).

33. " für " (Beine).

7.0 Literatur

1 Bate-Smith, E.C., J.R. Bendall
Factors Determining the Time Course of Rigor Mortis.
J. Physiology (London) 110, 47-65 (1949).

2 Bate-Smith, E.C., J.R. Bendall
Changes in Muscle after Death
Brit. med. Bulletin 12, 230 (1956)

3 Beier, G., E. Liebhardt, M. Schuck, W. Spann
Totenstarremessungen an menschlichen Skelettmuskeln in situ.
Z. Rechstmedizin 79, 277-283 (1977).

4 Forster, B., D. Ropohl, P. Raule
Tierexperimentelle Untersuchungen zur Lösung der Totenstarre.
Vortrag, 51.Tagg.Dtsch.Ges. Rechtsmedizin, Wien 1972

5 Forster, B., D. Ropohl, P. Raule
Eine neue Formel zur Beurteilung der Totenstarre: Die Feststellung des FRR-Index.
Z. Rechtsmedizin 80, 51 (1977).

6 Forster, B.
The contractil Deformation of Sceletal Muscle in Rigor Mortis.
Journal of Forensic Medicine, Vol. 10 No. 4, October-December 1963.

7 Forster, B.
The plastic and elastic Deformation of Sceletal Muscle in Rigor Mortis.
Journal of Forensic Medicine, Vol. 10 No. 3, July-September 1963.

8 Mallach, H.J., H.J. Mittmeyer
Totenstarre und Totenflecke. Methodische Auswertung der Todeszeit mit Hilfe maschineller Datenverarbeitung.
Z. Rechtsmedizin 69, 70 (1971).

9 Mangold, E.
Der Verlauf der Totenstarre am isolierten und in situ belassenen Skelettmuskeln von Säugern.
Pflügers Archiv 189/99 (1921).

10 Mangold, E.
Die Totenstarre
Naturwissenschaften 10, 895 (1922).

11 Mittmeyer, H.J.
Abhängigkeit der Totenstarre und Totenflecke vom Leichenalter.
Beitrag z. gerichtl. Medizin 28, 101-107 (1971).

12 Morgenstern, S.
Experimentelle Ergebnisse zur Frage des Temperatureinflusses auf die Leichenstarre.
Dtsch.Z.Ges.Gerichtl.Med. 9, 718 (1927).

13 Nysten, Ph.
Von der Erstarrung, welche die Körper des Menschen und der Tiere nach dem Tode befällt.
Recherches de Physiologie et de Chemie Pathologique, Paris 1811.

14 Oppenheimer, Fr., L. Wacker
Das Ausbleiben der postmortalen Säurebildung im Muskel als Ursache der verschiedenen Intensität der Totenstarre menschlicher Leichen.
Berliner Klin. Wochenschrift, Bd.II, 990 (1919).

15 Prokop, O. Forensische Medizin
2. Auflage VEB-Verlag Volk und Gesundheit, Berlin 1966.

16 Zink, P. Mechanische Eigenschaften lebensfrischer und totenstarrer menschlicher Skelettmuskelfasern und ganzer Muskeln.
Z. Rechtsmedizin 70, 163-177 (1972).

17 Zink, P. Das Verhalten menschlicher Skelettmuskulatur während der Verlaufs der Totenstarre.
Z. Rechtsmedizin 71, 170-173 (1972).

Lebenslauf

Als Sohn des Kaufmanns Paul Paelz und seiner Ehefrau Ming-Yuen, geb. Hsie, wurde ich am 4.1.1947 in Shanghai/China geboren. Wir wurden 1952 aus China ausgewiesen. Mein Vater starb im Jahre 1953. Ich kam daraufhin in das Waisenhaus St. Mauritz in Münster/Westf.

Dort besuchte ich die Volksschule und wurde 1960 aus der 8. Klasse entlassen.
Ab 1960 lebte ich bei meiner Mutter in Bremerhaven und besuchte dort die Städt. Zweijährige Handelsschule, die ich 1962 mit Abschluß verließ.
1962 begann ich eine Großhandelskaufmannlehre, die ich 1963 beendete, um den Kellnerberuf zu erlernen.
Von 1963 bis 1966 Kellnerlehre im Nordsee-Hotel Naber in Bremerhaven und Industrie-Club in Düsseldorf.
Im Juni 1966 wurde ich zum Grundwehrdienst bei der Bundeswehr eingezogen. Bis zum Dez. 1967 tat ich meinen Dienst beim Luftwaffenamt in Porz-Wahn.

Im Oktober 1966 trat ich in das Städt. Abendgymnasium in Köln ein und machte dort im Juli 1970 das Abitur.
Vom WS 70/71 bis SS 71 studierte ich an der Akademie der bildenden Künste in München Malerei.
Im WS 71/72 begann ich an der Ludwig-Maximilians-Universität in München das Medizinstudium.
Im Nov. 1978 schloß ich das Studium mit dem 3. Staatsexamen ab.